

TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN TOIMIALA

Konetekniikan koulutusohjelma

Koneensuunnittelun suuntautumisvaihtoehto

INSINÖÖRITYÖ

**MODULAARISEN PAISUNTA-ASTIAN KEHITTÄMINEN
COMPACT- SARJAN TEOLLISUUSVAIHTEESEEN**

**Työn tekijä: Antti Linnakoski
Työn valvoja: Pekka Salonen
Työn ohjaaja: Antero Kärki**

Työ hyväksytty: __. __. 2007

**Pekka Salonen
lehtori**

ALKULAUSE

Tämä insinöörityö tehtiin SEW Industrial Gears Oy:lle. Haluan kiittää työn ohjaajaa Antero Kärkeä ja työn valvojaa Pekka Salosta arvokkaista neuvoista ja rakentavista kommentteista sekä Juha Huuskosta avusta tarjouskyselyjä tehtäessä.

Lämmin kiitos kuuluu myös SEW Industrial Gears Oy:n henkilökunnalle, jolta olen saanut tukea ja neuvoja insinöörityöni eri vaiheissa.

Helsingissä 31.3.2007

Antti Linnakoski

INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä: Antti Linnakoski	
Työn nimi: Modulaarisen paisunta-astian kehittäminen compact- sarjan teollisuusvaihteeseen	
Päivämäärä: 31.3.2007	Sivumäärä: 32 + 9 liitettä
Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Koneensuunnittelu
Työn valvoja: Lehtori Pekka Salonen	
Työn ohjaaja: Teknikko Antero Kärki SEW Industrial Gears Oy	
<p>Tämä insinööritö tehtiin SEW Industrial Gears Oy:lle, joka valmistaa hammasvaihteita teollisuuden eri sovellutuksiin. Työn tavoitteena oli kehittää modulaarinen paisunta-astiasarja compact -sarjan teollisuusvaihteeseen.</p> <p>Työn alkuvaiheessa käytössä oli kahdenlaisia paisunta-astioita: kosteissa oloissa käytettävä suljettu astiamalli ja kuiviin olosuhteisiin soveltuva malli. Koska käytössä oleva suljettu astiamalli oli kallis ja kuivien olosuhteiden mallin käyttö oli rajoitettu, oli uudelle modulaariselle paisunta-astialle selkeä tarve. Uuden astiamallin tuli olla yhteensopiva vaihteen yleisimpien varusteiden ja asennusasentojen kanssa. Lisäksi tavoitteena oli puolittaa uuden konseptin hinta vanhaan verrattuna ja paikata vanhoissa konstruktioissa olleita puutteita.</p> <p>Työ aloitettiin analysoimalla olemassa olevat paisunta-astiatyypit, minkä jälkeen paisunta-astialle ideoitui uusia ominaisuuksia. Toisessa vaiheessa perehdyttiin modulaariseen järjestelmään sekä öljynpaisunnan teoriaan teollisuusvaihteessa. Viimeisessä vaiheessa tehtiin konseptin varsinainen suunnittelutyö, valittiin astian valmistustapa ja materiaali sekä optimoitiin hinta. Uudesta mallista valmistettiin myös prototyyppi, jotta suunniteltua tuotetta päästiin kokeilemaan myös käytännössä. Näin voitiin varmistaa tuotteen toimivuus.</p> <p>Suunnittelutyön tuloksena saatiin uuden paisunta-astiasarjan piirustukset tarvittavista osista ja kokoonpanoista sekä komponenttistandardi ja myyntiä tukevaa materiaalia. Käytännön osuus antoi tietoa laskelmien oikeellisuudesta sekä öljyn täyttöön ja paisuntaan liittyvistä asioista.</p>	
Avainsanat: paisunta-astia, öljynpaisunta, modulaarisuus	

ABSTRACT

Name: Antti Linnakoski	
Title: The Development of Modular Expansion Tank for Compact Series Gear Unit	
Date: March 31, 2007	Number of pages: 41
Department: Mechanical and Production Engineering	Study Programme: Product Design
Instructor: Pekka Salonen, Senior Lecturer	
Supervisor: Antero Kärki, Team Leader SEW Industrial Gears Oy	
<p>This graduate study was carried out for SEW Industrial Gears Oy, which produces gear units for different industrial solutions. The purpose of this work was to develop a modular expansion tank for Compact series industrial gear unit.</p> <p>SEW Industrial Gears was using two different kinds of expansion tanks before this work. The other closed model was for moist conditions and the other is for dry conditions. As the closed model was too expensive and the use of casted model was too limited it was necessary to develop a new expansion tank. The new model had to be compatible with the general accessory and mounting position of the compact gear unit. Another target for this final project was to bring down the costs of manufacturing the new model by 50% from those with the closed model.</p> <p>The first step was to analyse the construction of the current expansion tanks. The study also discusses modular systems and oil expansion in industrial gear units. Finally, a new design of the new expansion tank was created including choosing the right material and manufacturing method. A prototype tank was also manufactured in order to test the expansion tank.</p> <p>Based on the results of this study the drawings for the new expansion tank, component standard and sales support material were created. The tests with the prototype tank provided information of the accuracy of the oil expansion calculations and important knowledge of oil filling and expansion in an industrial gear unit.</p>	
Keywords: expansion tank, oil expansion, modularity	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	1
2	YRITYS	2
3	PAISUNTA-ASTIAN TARKOITUS TEOLLISUUSVAIHTAISISSA	2
4	NYKYISET PAISUNTA-ASTIARATKAISUT	4
4.1	Suljettu kalvoastia	4
4.2	Valuastia	6
4.3	Erikoiset paisunta-astiat	7
5	TUOTTEEN MODULAARISUUS	8
6	UUSI KONSEPTI	10
6.1	Öljynpaisunnan teoria	10
6.1.1	Öljymäärät vaihteissa	10
6.1.2	Öljynpaisunnan laskeminen	11
6.2	Paisunta-astian kokojen määräytyminen	12
6.3	Paisunta-astian paikka vaihteessa	13
6.3.1	Lisävarusteet ja asennusasennot	14
6.3.2	Valitut astian sijoituspaikat	15
6.3.3	Paisunta-astian uusien ominaisuuksien ideointi	17
6.4	Valmistus ja hintojen määräytyminen	18
6.4.1	Paisunta-astia	19
6.4.2	Paisunta-astian pinnoitus	22
6.4.3	Kiinnikkeet	22
6.4.4	Prototyyppiversio	24
6.4.5	Hintavertailu	29
7	KÄYTTÖÖNOTETTAVAT JA SÄILYTETTÄVÄT RATKAISUT	30
8	YHTEENVETO	31
9	VIITELUETTELO	33

LIITTEET

- | | |
|----------------|--|
| Liite 1 | Vaatimuslista uudelle paisunta-astialle |
| Liite 2 | Taulukko vaihteen asennusasennoista |
| Liite 3 | Esimerkkipiirustukset paisunta-astiasta |

1 JOHDANTO

Insinööriö paisunta-astian moduloinnista on tehty SEW Industrial Gears Oy:lle, joka on Compact-sarjan teollisuusvaihteita valmistava yritys. Insinööriön tarkoituksena on suunnitella uusi modulaarinen paisunta-astiakonsepti, joka sopii hyvin normaaleihin olosuhteisiin.



Kuva 1. Teollisuusvaihde

Tällä hetkellä vaihteissa käytetään kahdenlaisia paisunta-astioita: valamalla valmistettuja astioita, joiden käyttömahdollisuudet ovat hyvin rajalliset, sekä likaisiin ja kosteisiin olosuhteisiin suunniteltuja suljettuja kalvollisia paisunta-astioita. Tämän kosteisiin olosuhteisiin suunnitellun astian heikkouksia ovat konstruktion korkea hinta, osien suuri määrä sekä koon ylittöisyys pieniin vaihteisiin. Uuden paisunta-astiakonseptin on tarkoitus tulla yleisastiaksi normaaleihin olosuhteisiin kalvollisen astian jäädessä kosteiden ja likaisten olosuhteiden paisunta-astiaksi.

Uuden paisunta-astiakonstruktion tulee olla rakenteeltaan modulaarinen, helposti valmistettava ja kokoonpantava. Paisunta-astian pitää soveltua vaihteeseen kaikkien lisävarusteiden kanssa. Lisäksi tavoitteena on, että uusi astiakonsepti olisi 50 % halvempi nykyiseen astiaan verrattuna.

Insinööriö jakautuu kolmeen osaan. Ensimmäisessä osassa analysoidaan olemassa olevan konstruktion hyvät ja huonot puolet sekä perehdytään erikoistapauksiin. Nykyisen astian hinta selvitetään ja vaatimukset käydään läpi tarkemmin ennen uuden konseptin suunnittelun kuvausta.

Toisessa osassa käsitellään modulaarisuuden teoriaa ja määritetään paisunta-astioiden koot ja sijoituspaikat vaihteessa sekä käydään läpi uusia kilpailukykyä lisääviä ominaisuuksia.

Kolmannessa osassa kuvataan varsinainen uuden konstruktion suunnittelutyö, valmistustavan ja materiaalin valinta sekä hinnan optimointi. Lisäksi lopulliset hinnat määräytyvät työn loppuvaiheessa.

2 YRITYS

SEW Industrial Gears Oy kuuluu SEW Eurodrive -konserniin. Yritys suunnittelee, valmistaa ja myy Compact-sarjan teollisuusvaihteita. SEW Industrial Gears oli ennen osa Santasalo-JOT-ryhmää. Vuonna 2000 tapahtuneissa yrityskaupoissa yrityksestä tuli SEW Componenta Oy. Vuonna 2001 SEW Eurodrive GmbH osti koko SEW Componenta Oy:n osakekannan ja yritys muutti nimensä SEW Industrial Gears Oy:ksi.

Tuoteperheeseen kuuluu kaksi- ja kolmeportaisia kartio- ja lieriövaihteita, kutakin kahdeksaa eri kokoa. Vaihteita käytetään sekoittimissa, satamanostureissa, kuljetinkäytöissä ja monissa muissa teollisuuden sovellutuksissa. Karkkilassa sijaitsevassa tehtaassa kootaan Compact-sarjan vakiovaihteiden lisäksi kaikki vaihdesarjan erikoisvaihteet, jotka suunnitellaan asiakkaan tarpeiden mukaisiksi. Karkkilassa valmistetaan myös komponentteja yrityksen muihin kokoonpanotehtaisiin ympäri maailmaa. Sew Industrial Gearsin palveluksessa Karkkilassa on noin 120 henkilöä, ja Karkkilassa toimii myös myynnin tekninen tuki ja tuotekehitys.

3 PAISUNTA-ASTIAN TARKOITUS TEOLLISUUSVAIhteissa

Moottorin käyttäessä vaihdetta syntyy tehohäviöitä, jotka johtuvat vaihteen vierintäelimien kuten laakerien ja hammaspyörien kitkasta. Nämä kitkat saavat aikaan vaihteen lämpenemisen ja siten lämpölaajenemista vaihteessa. Koska vaihteen kotelon ja vierintäelimien lämpölaajeneminen 20 - 90 asteen lämpötilassa on lähes merkityksetöntä, merkittävin näissä lämpötiloissa laajeneva elementti on vaihteessa oleva öljy.

Vaihteen öljypinnan korkeus määräytyy vaihteen voitelutavan mukaan. Voitelutapoja on kolmea tyyppiä: roiskevoitelu, kylpyvoitelu ja painevoitelu. Roiskevoitelu on yleisin voitelutapa, mutta se soveltuu käytettäväksi vain silloin, kun vaihteen akselit sijaitsevat horisontaalitasossa eli vaakavaihteissa. Poikkeuksena mainittakoon vinoon asennusasentoon sijoitettavat vaakavaihteet, jolloin paisunta-astian käyttö saattaa olla tarpeen. Lisäksi on huomioitava vaihteen viimeisen portaan riittävä kehänopeus, jotta öljyn roiskumista tapahtuisi riittävästi. Kylpyvoitelua käytetään kun akselien kehänopeudet ovat pieniä tai kun vaihteen akselit sijaitsevat pystytasossa. Tällöin on kyseessä ns. vertikaalivaihte (PV/RV-vaihte), jolloin öljypinnan pitää olla ylimpien vierintäelimien tasolla. Painevoitelua käytetään silloin, kun akselien kehänopeudet nousevat suuriksi, mutta yleisimmin silloin, kun kylpyvoitelun vaatima paisuntasäiliö ei mahdu vaihteen yläpuolelle. Painevoitelua käytetään myös silloin, kun vaihteen terminen teho on suurempi kuin käyttöteho eikä pelkkä vesijäähdytys tai tuuletin enää riitä pitämään vaihteen käyntilämpötilaa sallituissa rajoissa.

Kylpyvoitelun käyttö yrityksen vaihteissa on kannattavaa, koska paisunta-astia on edullisempi pumppuvoiteluun verrattuna ja öljyn paisunnat ovat suhteellisen pieniä. Kylpyvoitelu on voitelutapana varmempi kuin painevoitelu, koska pumppu on mekaaninen laite ja siten rikkoontumisvaara on aina olemassa. Lisäksi painevoitelu tarvitsee aina ulkoisen putkituksen imu- ja painepuolelle. Kylpyvoitelu voitelutapana kuitenkin aiheuttaa tiettyjä hankaluuksia, koska öljy tarvitsee tilaa laajetessaan. Vaihteen koteloon ei ole voitu suunnitella erillistä tilaa paisuvalle öljylle, koska saman vaihdekoon koteloa käytetään niin vaaka-, vertikaali- ja pystyasennus eli PE-vaihteessa. Tämän vuoksi vaihteen ulkopuolelle sijoitetaan paisunta-astia kattamaan tämä syntynyt tilantarve.

4 NYKYISET PAISUNTA-ASTIARATKAISUT

Ennen varsinaista uuden konseptin suunnittelua ja modulointia on syytä selvittää perusteellisesti nykyisten paisunta-astioiden konstruktio ja käyttötarcoitus sekä mahdolliset käytön rajoitukset. Lisäksi on syytä selvittää paisunta-astioiden menekki vaihdekoottain tietyllä aikavälillä. On myös tärkeää käydä läpi asiakkaiden kokemuksia paisunta-astiasta sekä selvittää kokoonpanon kanssa nykyisten paisunta-astioiden mahdolliset ongelmat kokoonpanoa ajatellen.

Paisunta-astioiden menekit selvitettiin tutkimalla vaihteiden myyntimääriä. Kartoitus tehtiin hakuina myyntitietokantaan. Tämä kartoitus antoi suoraan paisunta-astioiden menekit vaihdekoottain. Tarkka myyntimäärien selvittäminen on tärkeää työn jatkon kannalta, koska uutta konseptia suunniteltaessa ja tarjouksia pyydetessä on tärkeää tietää tuotteen menekki vuodessa. Näin työn painopiste voidaan kohdistaa myydyimpiin vaihdekokoihin. Vaihteiden myyntimäärät kappaleina vuodessa ovat taulukossa 1.

Taulukko 1. Vaihteiden myyntimäärät kappaleina vuodessa

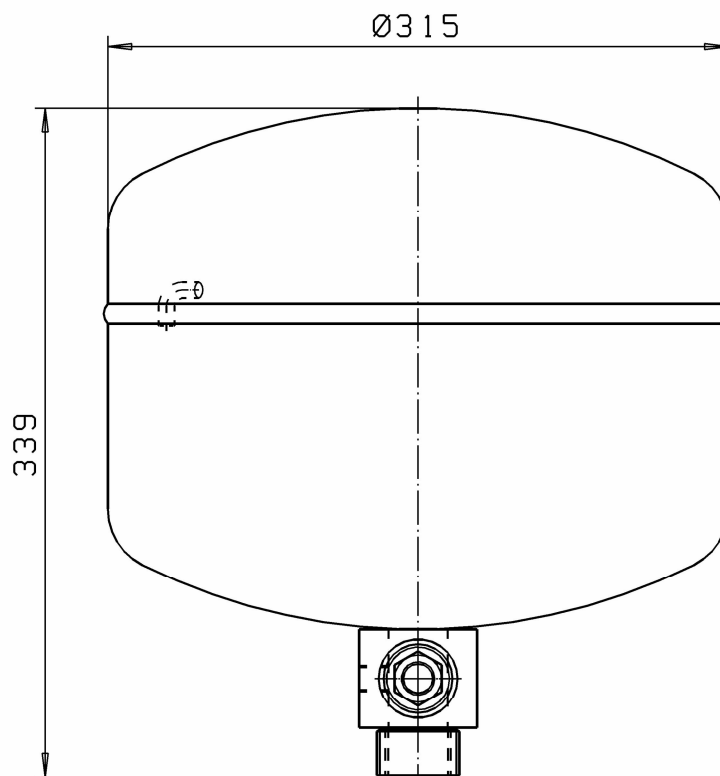
Vaihdekoko	Vertikaalivaihteet	Pystyasennusvaihteet
02	10	1
03	5	3
04	21	17
05	45	6
06	56	7
07	141	2
08	32	3
09	38	4
Yhteensä	348	41

Taulukosta 1 nähdään, että pystyasennusvaihteiden myyntimäärät verrattuna vertikaalivaihteiden myyntimääriin ovat pienet. Uutta konseptia suunniteltaessa suunnittelun painopiste on vertikaalivaihteen paisunta-astiassa.

4.1 Suljettu kalvoastia

Compact-sarjassa vakiona oleva paisunta-astia (kuva 2) on kahdesta painosorvatusta pallonmuotoisesta puolikkaasta yhteen hitsaamalla valmistettu säiliö. Säiliön sisällä on kumikalvo, joka liikkuu nesteen pinnan tasalla mahdollistaen nesteen pinnan esteettömän nousun. Astian yläosassa on huohotinputki ja alaosassa putkiyhde, josta tulee öljy-yhteys vaihteeseen. Astia on valmistettu ruostumattomasta teräksestä ja astian alkuperäinen käyttötarkoi-

tus on toimia virtauksen ja paineen tasaajana omakotitalon vesikiertoisessa lämmitysjärjestelmässä. Astia on kiinnitetty vaihteeseen erillisellä tukiraudalla, joka on osoittautunut erittäin värinäherkäksi. Öljy-yhteys vaihteeseen saadaan taivutetulla putkella. Kalvopaisunta-astian hinta on 90 €.



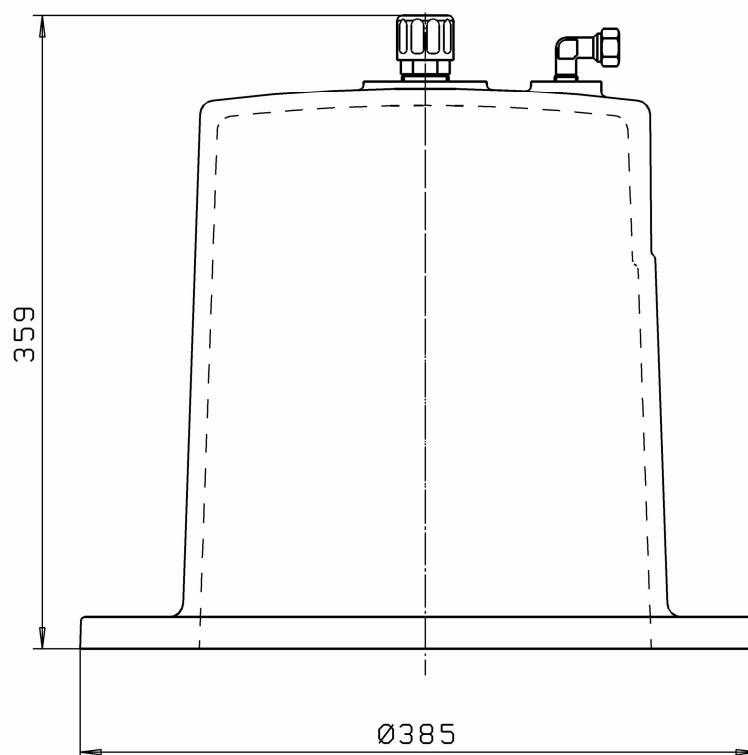
Kuva 2. Kalvopaisunta-astia

Konstruktion suurin ongelma on vaihteen öljyntäyttö ja käytönaikaiset värähtelyt. Kaadettaessa vaihteeseen öljyä vaihteessa oleva ilma on johdettava pois. Astian pohjalla on jakotukki, johon tulee vaihteesta putki öljy-yhteyttä varten sekä kierrereikä öljysilmää varten. Jakotukissa on pieni ilmausruuvi joka pitää poistaa, jotta ilma pääsisi vaihteesta pois. Ilmaruuvi on kuitenkin vaikeassa paikassa ja jää siten ohjeista huolimatta usein huomaamatta. Paisunta-astian asennus vaihteeseen on työlästä ja hidasta johtuen osien suuressa määrästä.

Suljetun paisunta-astian huonoja puolia ovat lisäksi kallis hankintahinta, kiinnikkeiden ja putkiyhteiden suuri määrä eikä astian muoto oikein sovellu teollisuusvaihteen muotoihin asia, joka tulee helposti esille myyntitilanteessa.

4.2 Valuastia

Valamalla valmistettu paisunta-astia (kuva 3) on tarkoitettu kuiviin ja puhtaisiin olosuhteisiin. Konstruktioltaan astia on erittäin yksinkertainen, sillä säiliö on tehty valamalla putkimainen osa, joka on toisesta päästä umpinainen. Paisuntatila saadaan aikaan poistamalla toisioakselin vastakkaisen puolen kansi ja asentamalla valuastia kannen tilalle. Huuhotin- ja ilmaputkiliitännät sijaitsevat astian yläpinnalla. Tämän mallin hinta koosta riippuen on noin 60 €



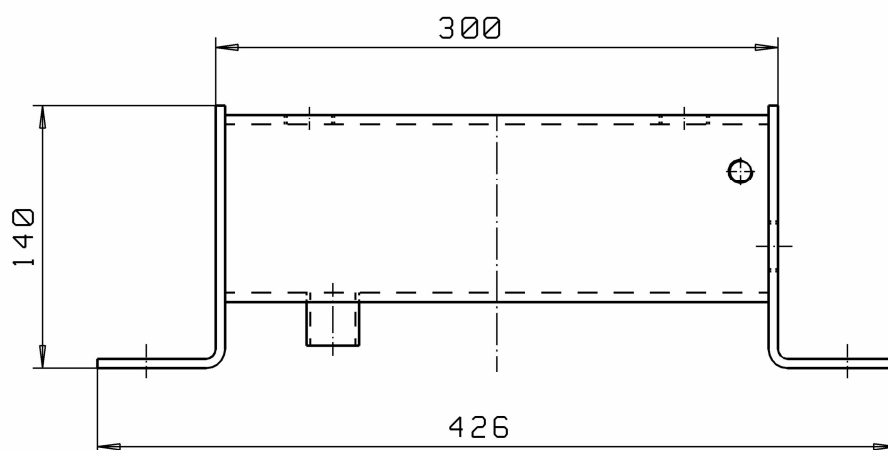
Kuva 3. Valuastia

Tämä astiamalli on yksinkertainen ja halpa valmistaa, ja osia rakenteessa on vähän. Paisunta-astian tilavuus on pystytty optimoimaan kunkin vaihdekoon paisuntaa varten, koska astiamalli käy vain yhteen vaihdekokoon. Lisäksi astia ei yleensä ole minkään vaihteen lisävarusteen tai asiakkaan laitteen tiellä, vaan se jatkaa vaihteen muotoja jouhevasti ja on selvästi helpommin myytävä kuin kalvoastia. Koko vaihdesarjaan tarvitaan astioita yhteensä kahdeksan erilaista, joten konstruktio ei ole kovin modulaarinen. Astia ei myöskään käy putkiakselilla varustettuun vaihteeseen, tai kun vaihteen akseli on ylöspäin. Vaihteen öljyntäyttö suoraan huuhotinliitännästä on hidasta, koska öljy joutuu menemään toisioakselin laakerin läpi. Vaihte joudutaankin täyttä-

mään kotelon yläreunaan asti vaihteen päällä olevasta reiästä ja vasta sitten paisunta-astian päältä. Astiassa ei ole myöskään paikkaa öljysilmälle, vaan ainoa öljynkorkeuden havainnointiväline on öljytikku.

4.3 Erikoiset paisunta-astiat

Erikoiisiin paisunta-astiaratkaisuihin (kuva 4) joudutaan yleensä silloin kun tila vaihteen ympärillä on rajoitettu tai asiakas haluaa optimoida paisunta-astian koon vaihteen öljynpaisuntaa vastaavaksi. Erikoinen paisunta-astia tulee kyseeseen myös silloin, kun asiakas haluaa käyttää öljynkorkeuden havainnoimiseen erillistä anturia tai öljylasia. Säiliöosa valmistetaan RHS-putkipalkista tai kahdesta taivutetusta peltilevystä, johon hitsataan päätylevyt kiinni. Päätylevyissä on reiät vaihteeseen kiinnitystä varten ja säiliöosaan on hitsattu putki öljy-yhteyttä varten. Öljytäyttö- ja huohotinreikä on astian yläpinnalla. Astiaan saadaan helposti koneistettua paikka öljysilmälle. RHS-palkkiastian hinta koosta riippuen noin 150 - 200 €



Kuva 4. RHS-palkkiastia

Tällaiset peltilevystä valmistetut astiat ovat melko kalliita, koska tilausmäärät ovat pieniä ja kokoonpano on hitsauksesta johtuen käsityötä. Astian materiaalina käytetään mustaa teräslevyä, joten myös astian sisäpuoli on käsiteltävä ruostumisen estämiseksi. RHS-putkipalkin seinämän paksuudesta johtuen astia on varsin painava. Myös vaihteen toimitusaika pitenee, koska jokainen erikoinen paisunta-astia suunnitellaan erikseen.

Paisunta-astioiden analysoinnin jälkeen tulokset koottiin taulukkoon, josta ne ovat helposti saatavissa. Taulukosta nähdään uutta konseptia suunniteltaessa, mihin ominaisuuksiin tulee erityisesti kiinnittää huomiota. Yhteenveto nykyisistä paisunta-astioista taulukossa 2.

Taulukko 2. Yhteenveto paisunta-astioiden ominaisuuksista

Ominaisuus	Suljettu astia	Valuastia	Erikoinen paisunta-astia
Hinta	+	+++	–
Valmistettavuus	++	+++	++
Asennus	–	+++	++
Huoltotarve	+++	+	++
Saatavuus	++	+++	+
Modulaarisuus	+++	–	–
Suunnittelu ystävällisyys	–	++	+++
Σ	II	I	III

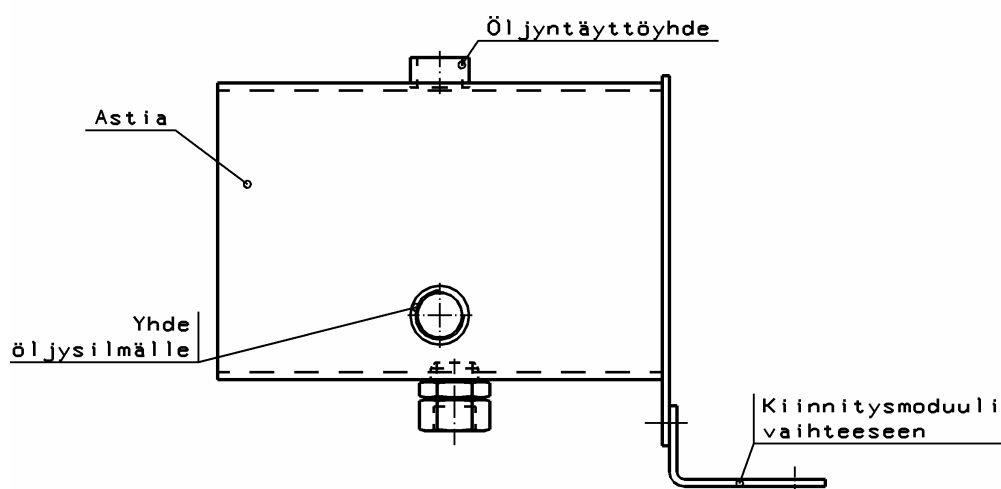
5 TUOTTEEN MODULAARISUUS

Tuotteen modulaarisuudella tarkoitetaan erilaisten tuotevariaatioiden luomista valmiiksi suunniteltujen osien tai osakokonaisuuksien eli modulien avulla. Modulaarisuus mahdollistaa varioituvan tuoterakenteen, jota on helppo muokata asiakkaan vaatimuksen mukaan yhdistelemällä eri moduuleita keskenään.

Ennen moduloinnin aloittamista pitää selvittää tuotteen kilpailukyky ja markkinoiden tarpeet. Kilpailijoiden tuotteet on myös hyvä käydä läpi. Jos tuotteen modulointi katsotaan tarpeelliseksi, pitää tuotteen moduulijako selvittää tarkoin. Moduulijako voi perustua asiakkaiden tarpeisiin tai esimerkiksi moduloitavan tuotteen ominaisuuksiin. Tässä työssä moduulijako perustuu pääosin tuotteen ominaisuuksiin, koska uuden paisunta-astiakonseptin tulee täyttää vaatimuslistassa olevat kriteerit.

Moduloitaessa tuotetta tuotteen eri toiminnot voidaan jakaa toimintomoduleihin tai valmistusmoduuleihin. Toimintomoduulit on määriteltävä teknisten toimintojen vaatimuksesta siten, että ne toteuttavat toimintoja yksin tai jonkun toisen moduulin kanssa. Valmistusmoduulit ovat moduleita, jotka määri-

tellään pelkästään valmistustekniikan näkökulmasta. Tässä työssä moduulit jaetaan toimintomoduuleihin, koska paisunta-astialla on erilaisia toiminnallisia tehtäviä. Esimerkkinä erilaisista toiminnoista mainittakoon (kuva 5) itse astia, joka toimii paisuvan öljyn varastona, huohotin, josta ilma pääsee ulos ja kiinnike, jolla paisunta-astia kiinnitetään vaihteeseen. Toimintomoduulit voidaan vielä jaotella erilaisiin alimoduuleihin, kuten perus-, apu-, sovitus- ja erikoismoduuleihin. Perusmoduulina työssä on itse astia ja apumodulina kiinnityusraudat. Erikoismoduulina voisi toimia esimerkiksi putkiyhde jolla voidaan kiinnittää öljytasomittari paisunta-astiaan. /1/



Kuva 5. Paisunta-astian toimintomoduuleja

Modulointi edellyttää, että tuotteella on riittävä volyymi, jolloin moduuleja voidaan valmistaa tilauksista riippumatta optimaalisissa erissä. Tällöin myös tuotteen hinta saadaan optimoitua. Moduloinilla ei kuitenkaan voida toteuttaa kaikkia ratkaisuja, vaan moduloinnissa tulee huomioida joustavuus. Modulointi ei sovi tuotteeseen, jossa halutaan optimoida jokin parametri, esimerkiksi tilavuus, vaan moduloinnissa päätökset perustuvat aina kompromisseihin. Tässä työssä ei ole taloudellisesti kannattavaa kehittää jokaiselle vaihtekoolle omaa astiaa, koska muuten volyymi astiaa kohden jää pieneksi ja tällöin valmistuskustannukset yhtä astiaa kohden muodostuvat liian suuriksi.

6 UUSI KONSEPTI

Nykyisten paisunta-astioiden analysoinnin jälkeen uuden konseptin suunnittelu aloitettiin laatimalla vaatimuslista uudelle paisunta-astialle (liite 1) ja selvittämällä vaihteiden öljymäärät sekä laskemalla öljyn paisunnat. Tämän jälkeen voitiin määrätä paisunta-astian optimaaliset koot vaihteiden myyntimäärin nähden sekä aloittaa varsinaisen konseptin suunnittelu.

6.1 Öljynpaisunnan teoria

Ennen varsinaista paisunta-astiakokojen päättämistä on syytä perehtyä öljynpaisunnan teoriaan. Tämä auttaa ymmärtämään, mitkä tekijät vaikuttavat öljynpaisunnan suuruuteen ja mitä tekijöitä on syytä ottaa huomioon laskettaessa paisuntatilaa öljylle.

6.1.1 Öljymäärät vaihteissa

Vaihteissa käytettävät öljymäärät ilmoitetaan karkeasti vaihteen teknisissä tiedoissa. Tarvittava öljymäärä vaihtelee kuitenkin välityssuhteesta riippuen, koska erikokoiset hammaspyörät ovat tilavuudeltaan erilaisia. Koska uusi paisunta-astia pitää mitoittaa suurinta mahdollista öljynpaisuntaa varten, piti selvittää kunkin vaihdekoon suurin mahdollinen öljytilavuus. Öljytilavuudet selvitettiin etsimällä koeajopöytäkirjoista koeajoissa käytetyt öljymäärät ja öljymäärät listattiin taulukkoon, josta voitiin nähdä suurin vaihdekohtainen öljymäärä. Öljytilavuudet on jaoteltu vaihdetyyppien PV ja RE mukaan ja ne löytyvät taulukoista 3.

Taulukko 3. Vaihteiden öljytilavuudet

Vaihdekoko	MCPV	MCRE
02	22	18
03	30	28
04	44	56
05	53	52
06	68	61
07	102	77
08	133	139
09	174	143

6.1.2 Öljynpaisunnan laskeminen

Vaihdetta käytettäessä sen sisällä olevan voiteluaineen lämpötila nousee vierintäelimien, esimerkiksi laakereiden ja hammaspyörien kitkan vuoksi. Tällöin syntyy lämpötilaero ΔT , joka on vaihteen maksimikäyntilämpötilan ja öljyntäyttölämpötilan erotus. Vaihteen maksimikäyntilämpötila on yleensä rajoitettu $90\text{ }^{\circ}\text{C}$:n, koska voiteluöljyn ominaisuudet heikkenevät korkeammissa lämpötiloissa. On kuitenkin tilanteita, jolloin käyntilämpötila saattaa hetkellisesti ylittää suositellun $90\text{ }^{\circ}\text{C}$:n rajan, joten öljynpaisunnat on laskettu $100\text{ }^{\circ}\text{C}$:n käyntilämpötilan mukaan. Öljyntäyttölämpötilaksi oletetaan $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Öljy alkaa siis laajeta heti, kun syntyy lämpötilaero ΔT . Kasvu on tyypiltään lineaarista. Öljyn paisunta saadaan siten laskettua, kun tiedetään lämpötilaero, öljytilavuus sekä öljyn laajenemiskerroin. Voidaan kirjoittaa kaava

$$\Delta V = V \cdot c \cdot \Delta T \quad (1)$$

jossa

$$\Delta V = \text{öljyn paisunta } [\text{dm}^3]$$

$$V = \text{vaihteessa oleva öljymäärä } [\text{dm}^3]$$

$$c = \text{öljyn laajenemiskerroin } 0,00077 \text{ } / ^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = \text{lämpötilaero } [^{\circ}\text{C}].$$

Kaava ei ota mitenkään huomioon ilman sekoittumista öljyyn tai öljyn mahdollista vaahtoamista. Käytettäessä vaihdetta hammaspyörät saavat öljyn pyörteilevään liikkeeseen, jolloin pieniä määriä ilmaa pääsee sekoittumaan öljyyn. Käytännössä on havaittu, että lisäämällä kerroin 1.2 öljynpaisunnan kaavaan, ollaan hyvin lähellä todellista öljyn ja siinä olevan ilman kokonaispaisuntatilavuutta. Öljyn vaahtoaminen voidaan käytännössä jättää huomioida, koska nykyiset öljyt eivät vaahtoa uusina juuri lainkaan. Nyt voidaan kirjoittaa lopullinen muoto öljynpaisunnan kaavalle.

$$\Delta V = s \cdot V \cdot c \cdot \Delta T \quad (2)$$

$$s = \text{käytännön kokeissa havaittu korjauskkerroin (tyypillisesti } 1 - 1,4).$$

Tuloksena edellä mainitusta kaavasta saadaan vaihteiden öljynpaisunnat vaihdetyypeittäin taulukoituna (taulukko 4).

Taulukko 4. Vaihteiden lasketut öljynpaisunnat litroina

Vaihdekoko	MCPV	MCRE
02	1,2	1,3
03	2,2	2,1
04	3,3	4,1
05	3,9	3,8
06	5,0	4,5
07	7,5	5,7
08	9,8	10,3
09	12,9	10,6

6.2 Paisunta-astian kokojen määräytyminen

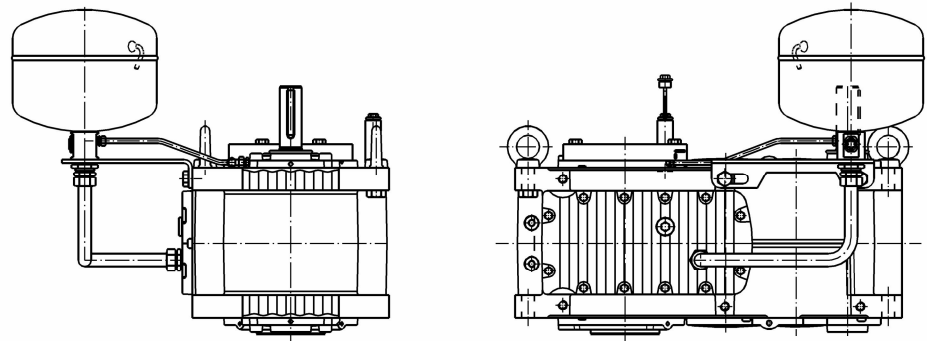
Analysoitaessa vaihteiden laskettuja öljynpaisuntoja ja vaihteiden myyntimääriä voidaan huomata, että eri tilavuuksisia astioita voi olla korkeintaan kolmea kokoa, jotta jokaisella astialla olisi riittävä volyymi. Tämä tarkoittaa myös sitä, että sama astia tulee niin pystyasennus- kuin vertikaalivaihteelle. Tämä seikka voi aiheuttaa hankaluuksia paisunta-astian kiinnittimien tai paisunta-astian fyysisien mittojen suunnittelussa. Toisaalta vanhassa konseptissa paisunta-astian koko on todella ylimitoitettu vaihteen öljynpaisuntaan nähden, joten uudessa astiamallissa tämä asia pitäisi huomioida vaihteen kokoon nähden sopusuhtaisempaan paisunta-astian kokona.

Astioiden kokoja mietittäessä on otettava huomioon ilman sekoittumisen ennalta-arvaamattomuus. Joissakin reklamaatiotapauksissa öljy on yksinkertaisesti tullut vaahtona huohottimesta ulos. Tällöin ilmaa on päässyt sekoittumaan öljyyn suuria määriä. Laskennalla saatu suurin öljynpaisunta on 12,9 litraa. Uuden konseptin suuremman astian tilavuudeksi päätettiin 14 litraa, jolloin jää hieman pelivaraa johtuen ilman sekoittumisesta paisuvaan öljyyn. Pienemmän astian paisuntatilavuudeksi päätettiin 4,5 litraa. Tämä pienempi astia on edelleen varsin reilusti ylimitoitettu pienimpään vaihteeseen, mutta astialle on saatava riittävä menekki, jotta hintatavoite voidaan saavuttaa ja siksi astia on yhdistettävä monelle vaihdekoolle. /3/

6.3 Paisunta-astian paikka vaihteessa

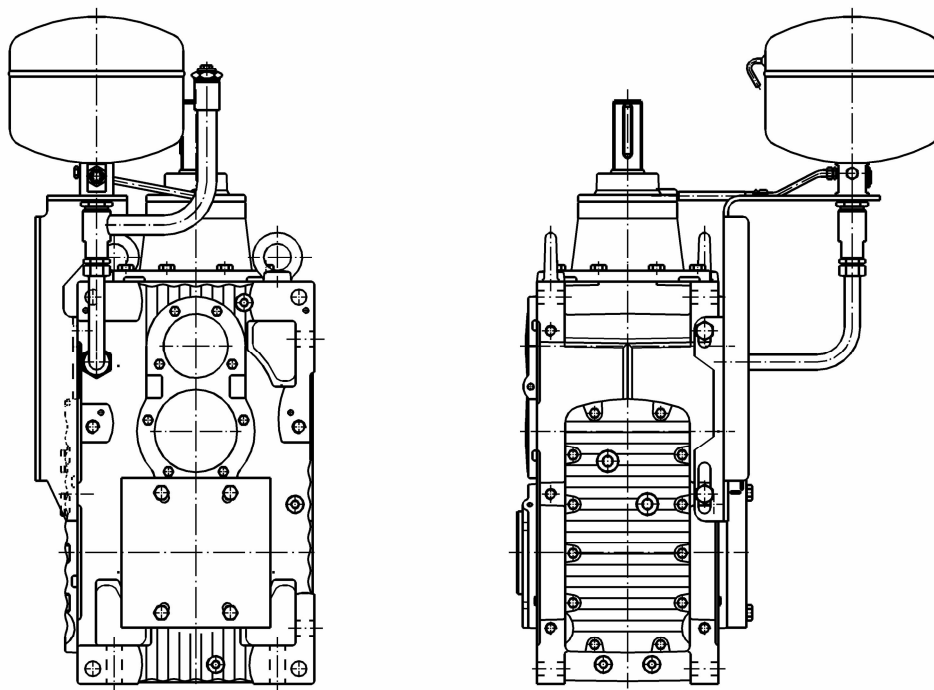
Paisunta-astian paikan valinta on tärkeä asia niin loppuasiakkaan kuin modulaarisen järjestelmänkin kannalta. Määräävämpi tekijä on loppuasiakkaan huomioiminen, koska vaihde on osa jotakin suurempaa osakokonaisuutta, ja tämän vuoksi vaihteen paisunta-astia ei saa asettaa rajoituksia eli olla asiakkaan laitteen tiellä. Tosin nyt tehtävä ratkaisu ei sovi jokaiseen mahdolliseen käyttöön, koska vaihteiden soveltamispaikat teollisuudessa ovat laajat. Sijoituspaikan valinnassa on pyritty ottamaan mahdollisimman hyvin mukaan myyntiorganisaation asiakkailta saama palaute. Modulaarisuuden kannalta paisunta-astia kannattaisi sijoittaa kiinnityspisteisiin, vaihteissa kierrereikiin, joiden samankaltaisuus olisi mahdollisimman suuri erikokoisissa vaihteissa.

Vanhan kumikalvolla varustetun paisunta-astiakonseptin kiinnityspaikka on valittu vertikaalivaihteessa (kuva 6) paisunta-astian muodosta johtuen kotelon etupuolelle ensiöakselin viereen. Tällöin astia ei ole esimerkiksi moottorilaipan tai toisiolaipan tiellä. Vaihteen ulkomitat tosin kasvavat leveyssuunnassa ja siten paisunta-astia voi olla asiakkaan laitteen tiellä. Öljy-yhteys vaihteeseen on saatu erillisellä putkella kokoonpanoaukon kannesta.



Kuva 6. Kalvopaisunta-astian sijoitus vertikaalivaihteessa

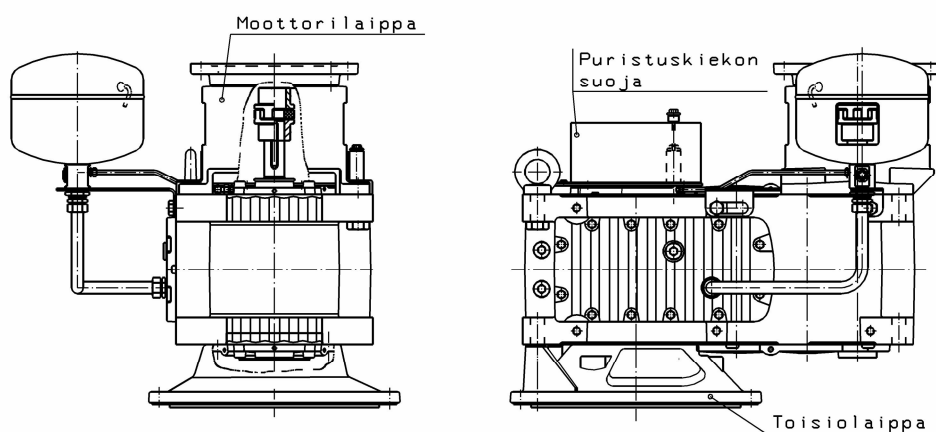
Pystyasennusvaihteessa paisunta-astian paikan (kuva 7) rajoittavin tekijä on moottorilaippa ja asiakkaan laite. Vanhassa konseptissa paisunta-astia on sijoitettu vaihteen sivuun toisioakselin vastakkaiselle puolelle. Ongelma on kuitenkin läpimenevällä toisioakselilla varustettu vaihde, jossa paisunta-astia on usein asiakkaan laitteen tiellä. Tämän vuoksi läpimenevällä toisioakselilla varustetuissa vaihteissa joudutaan usein erikoisiin paisunta-astiakonstruktiioihin.



Kuva 7. Kalvopaisunta-astian sijoitus pystyasennusvaihteessa

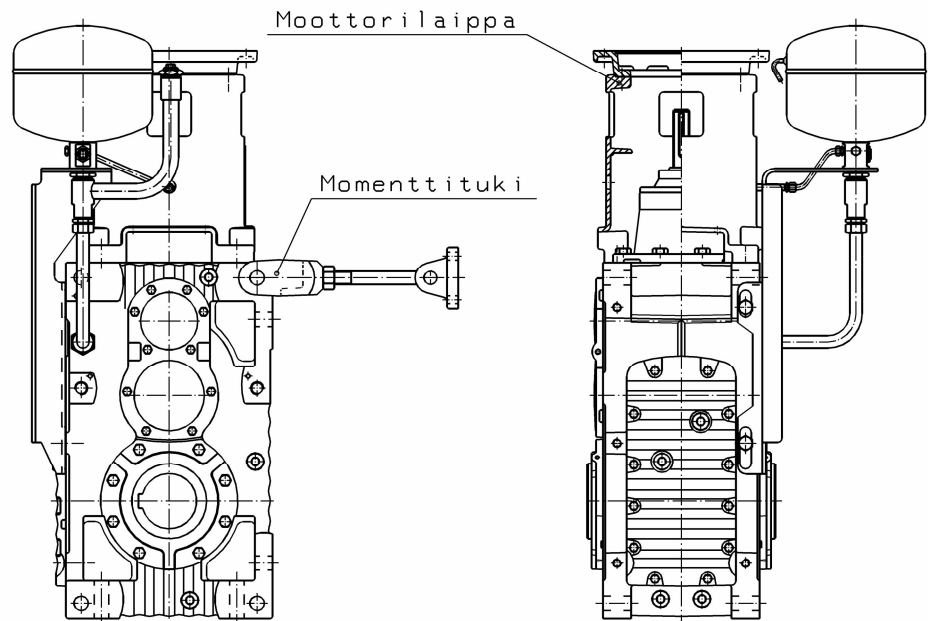
6.3.1 Lisävarusteet ja asennusasennot

Vaihteeseen saatavana olevat lisävarusteet (kuva 8), kuten moottorilaippa, puristuskiekkotai toisiolaippa vaativat myös tilaa vaihteen ympärillä. Kun otetaan lisäksi huomioon että vertikaalivaihte voidaan asentaa kahteen erilaiseen asennusasentoon (liite 2), asettaa se konstruktiolle lisää vaatimuksia.



Kuva 8. Vaihteeseen saatavilla olevia lisävarusteita

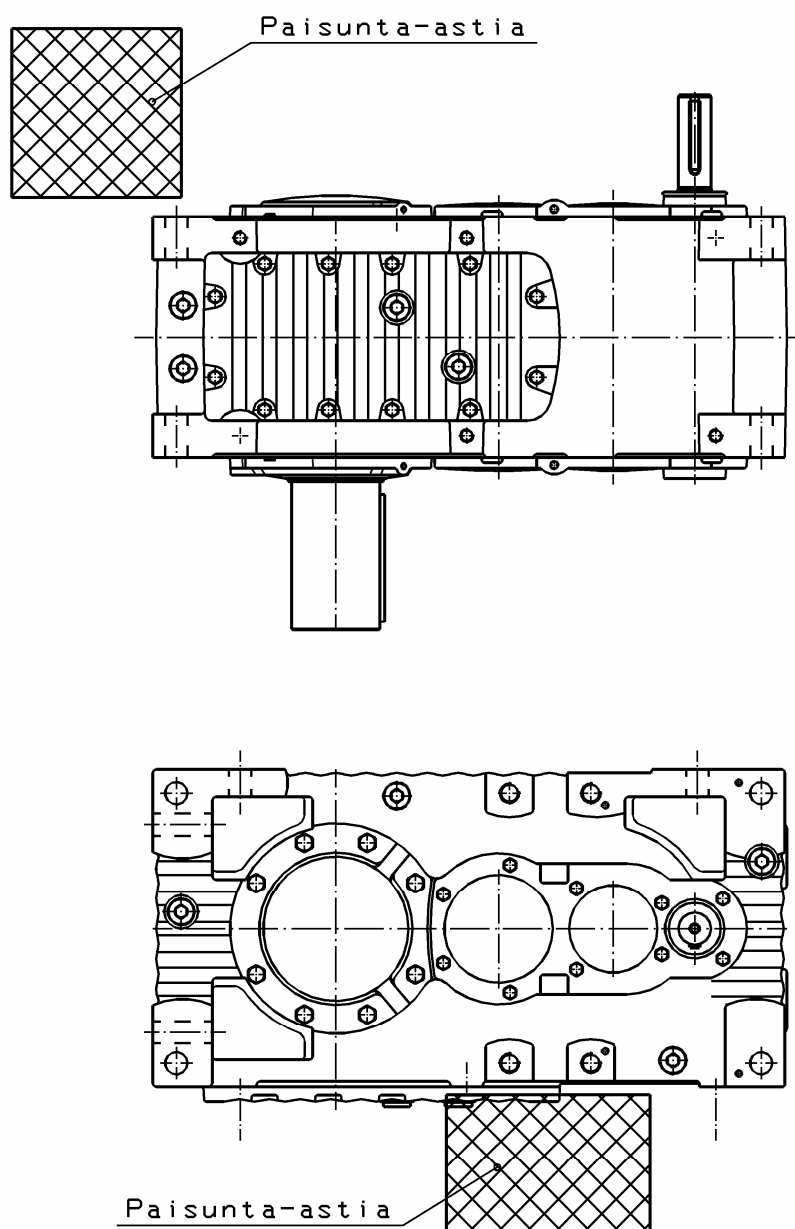
Pystyasennusvaihteessa paisunta-astian paikkaa rajoittaa eniten moottorilaippa ja asiakkaan laite. Jos paisunta-astia halutaan sijoittaa kokoonpanoaukon puolelle, ei momenttitukea voida tällöin käyttää samalla puolella paisunta-astian kanssa (kuva 9). Pystyasennusvaihteessa tarvitaan paisunta-astiaa vain asennusasennossa M4F6. Asennusasennossa M2F6 öljynpinta tulee vain toisiopesän puoliväliin asti, jolloin koteloon jää riittävästi tilaa paisuvalle öljylle.



Kuva 9. Pystyasennusvaihteeseen saatavilla olevia lisävarusteita

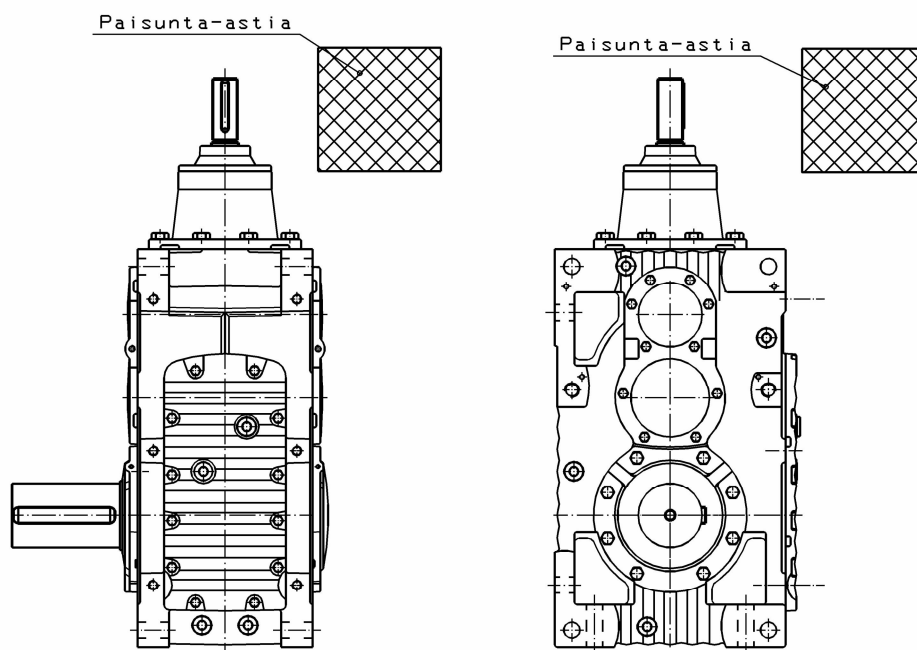
6.3.2 Valitut astian sijoituspaikat

Lisävarusteiden ja loppuasiakkaan laitteiden tilanvarausten analysoinnin jälkeen jäljelle jäi vertikaalivaihteeseen kaksi mahdollista astian sijoituspaikkaa, toisioakselin pääty ja kokoonpanoaukon puoleinen sivu, jossa kalvo-paisunta-astiakin on. Tarkastuskannen puoleisen sivun hyviä puolia ovat astian kiinnikkeiden yhdistettävyyys eri vaihdekoille ja asennusasunnoille, sekä tukevan yksiosaisen kiinnikkeen mahdollistava rakenne. Heikkouksia ovat puolestaan vaihteen äärimittojen kasvu leveyssuunnassa ja vaihteen öljyntäyttö on vaikeutuisi, koska öljy täytyisi vapaasti vain vaihteen keskiviivan kohdalle ja loppu öljy täytyisi paisunta-astiassa olevan öljyn hydrostaattisen paineen avulla. Tämä johtaisi hitaaseen öljyn täyttymiseen, jota ei voida sallia. Lisäksi jälkivarustelussa jouduttaisiin avaamaan liimalla varmistetun kokoonpanoaukon ruuveja, joka aiheuttaa mahdollisen öljynvuotoriskin. /4/



Kuva 10. Vertikaalivaihteen paisunta-astian mahdolliset sijoituspaikat

Vertikaalivaihteen paisunta-astian sijoituspaikaksi valittiin toisioakselin päädyn sijoitus (kuva 10), koska astia on helppo asentaa ja öljyntäyttöyhde on vaihteen yläpinnalla, jolloin öljyntäyttö on nopeaa. Astian paikka on luonteva vaihteen muotoihin nähden ja äärimitat kasvavat vain pituussuunnassa. Lisäksi astia sijoittuu lähelle vaihdetta, jolloin kiinnikkeistä saadaan tukevat värinöiden minimoimiseksi. Asennusasennon muutos M5F3:sta M6F4:ään voidaan tehdä vaihtamalla yhdeputki paisunta-astiasta vaihteeseen.

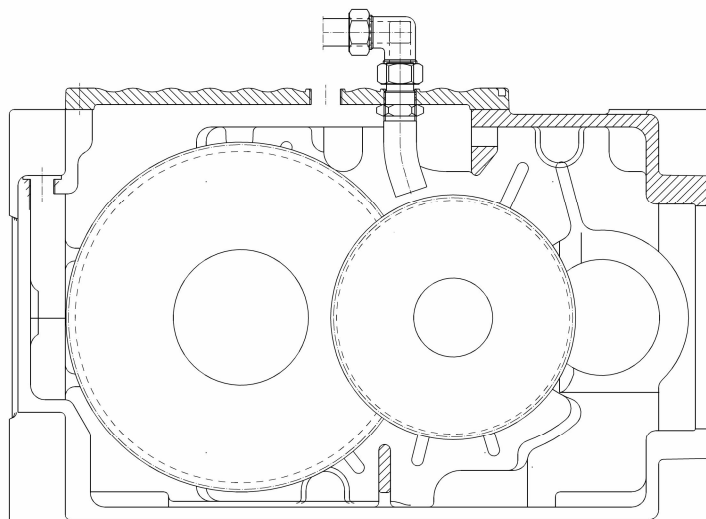


Kuva 11. Pystyasennusvaihteen paisunta-astian mahdolliset sijoituspaikat

Pystyasennusvaihteessa paisunta-astian sijoituspaikaksi (kuva 11) valittiin kokoonpanoaukon puoli, jotta välttyttäisiin ongelmasta läpimenevällä toisioakselilla. Konfiguraattoriin tehdään sääntö, joka estää momenttituen käytön paisunta-astian puoleisella sivulla.

6.3.3 Paisunta-astian uusien ominaisuuksien ideointi

Uutta konseptia suunniteltaessa ideoitiin paisunta-astialle myös uusia kilpailukykyä lisääviä ominaisuuksia. Vaihteen käyntilämpötilan ollessa korkea pitäisi vaihteessa oleva öljy saada kiertämään myös paisunta-astian kautta, jotta jäähdytuspinta-ala kasvaisi ja vaihteen jäähdytys tehostuisi. Öljyn kiertättämiseen voi käyttää hammaspyörän vispaaman öljyn tilavuusvirtaa (kuva 12).



Kuva 12. Öljynkierron aikaansaaminen hammaspyörän avulla

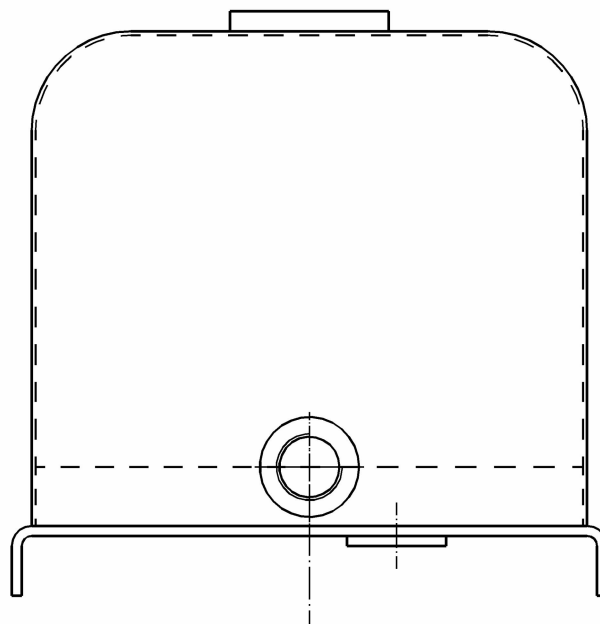
Edellytyksenä kuitenkin on, että hammaspyörän kehänopeuden pitää olla riittävän suuri ja putken pään on oltava lähellä hammaspyörän ulkokehää. Putki, jota pitkin öljy kulkee paisunta-astiaan on kuitenkin hankala ja kallis valmistaa, koska putken pitää väistellä kotelon muotoja ja muita vaihteessa olevia osia. Lisäksi putkea on vaikea moduloida, koska välityssuhteen ja vaihdekoon muuttuessa putken mitat muuttuvat. Tämän ominaisuuden lisäarvo kustannuksiin nähden on niin pieni, ettei sitä kannata ottaa sarjatuotantovaihteissa käyttöön.

Toinen kilpailukykyyn vaikuttava asia, joka tulee myyntitilanteessa usein esiin kalvomallisessa paisunta-astiassa on astian muoto. Asiakkailta on tullut runsaasti palautetta astian pallomaisesta muodosta ja paisunta-astian koon ylirajoituksesta pienimpään vaihteeseen. Uutta konseptia suunniteltaessa pyritään siis välttämään pallomaisia ja pyöreitä muotoja. Astian tulisi sopia mahdollisimman hyvin vaihteen muotoihin.

6.4 Valmistus ja hintojen määräytyminen

Paisunta-astia on koko konstruktion hinnan määräävin osa, joten astian suunnittelu ja valmistustavan valinta vaikuttavat eniten lopulliseen konseptin hintaan. Paisunta-astian tulee olla yksinkertainen ja halpa valmistaa, kestävä ja tukeva. Astiassa pitää olla yhteet öljysilmälle, huohottimelle, vaihteesta tulevalle ilmaputkelle sekä riittävän suuri öljyntäyttöaukko. Lisäksi astialta vaaditaan hyvää korroosionkestokykyä sekä sisältä että ulkoa.

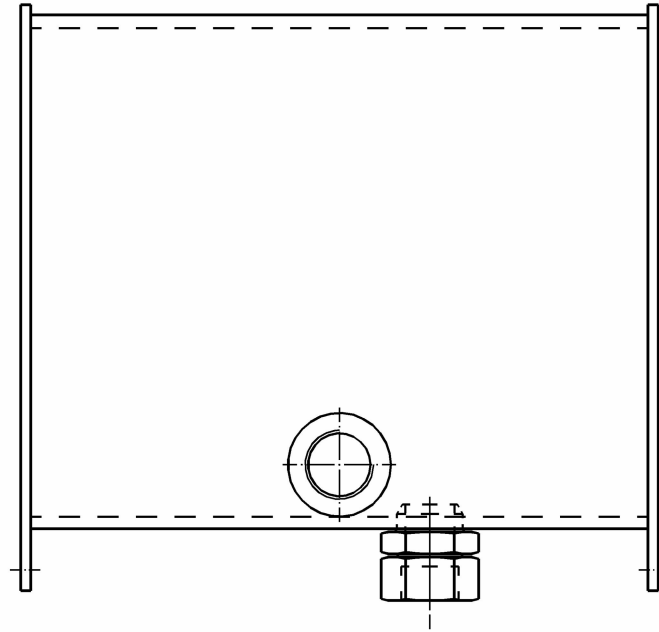
6.4.1 Paisunta-astia



Kuva 13. Syvävedetyllä säiliöosalla varustettu malli

Paisunta-astian suunnittelu aloitettiin edellä mainittujen vaatimusten perusteella. Ensimmäinen versio (kuva 13) on suunniteltu valmistamalla itse säiliöosa syvävedetystä kuppimaisesta osasta. Materiaalina voisi käyttää ruostumatonta terästä, joka on korroosionkestoltaan tavallista rakenneterästä huomattavasti parempaa. Astian pohjana on 5 millimetrin paksuinen taivutettu peltilevy, jossa on reiät kiinnitystä varten. Pohja ja syvävedetty yläosa liitetään toisiinsa hitsaamalla. Tarvittavat yhteet öljysilmää ja huohotinta varten saadaan hitsattavilla muhveilla. Tämän mallin hyviä puolia ovat hyvä korroosionkesto, jäykkä rakenne ja astian tilavuus pystytään määrittelemään helposti optimaaliseksi. Syvävedetyn mallin hinta muodostui kuitenkin yllättävän korkeaksi, johtuen syvävetomuotin kalliista hankintahinnasta sarjaan jäädessä liian pieneksi. Lisäksi ruostumaton teräs materiaalina on kallista. Muotteja olisi tässä tapauksessa tarvittu kaksi kappaletta, koska valmistettavia astiamalleja on kahta eri tilavuutta.

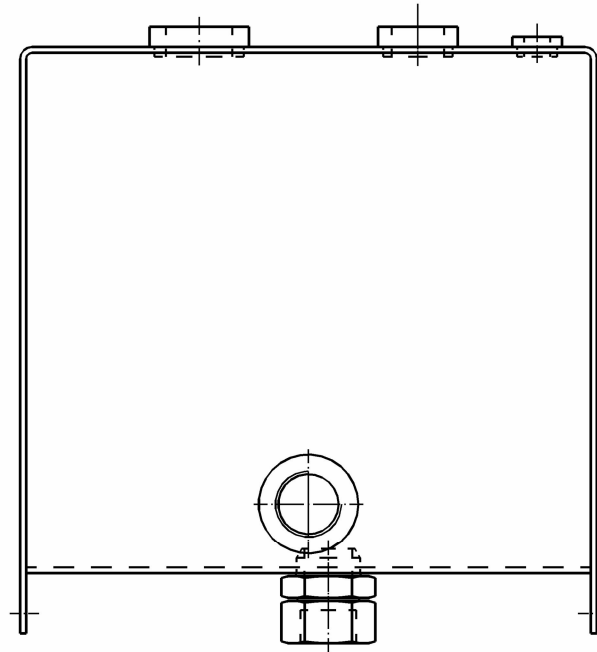
Toisena versiona suunniteltiin jo aikaisemminkin erikoisena paisunta-astiana käytetty RHS-palkkiastia.



Kuva 14. RHS-palkkiastia

Kuvan mallissa palkkiin on hitsattu peltilevyt päihin. Koska palkin seinämäpaksuus on kokoluokassa 260 x 260 ohuimmillaan 6,3 mm, niin erillisiä muhveja ei tarvita. Tämän ratkaisun hyvä puoli on se, että rakenne on jäykkä ja kestävä. Tämän version huonoja puolia ovat astian paino, joka on lähes 20 kg sekä astian poikkipinnan muoto, joka on sidoksissa palkin ulkomittoihin. Joten haluttu tilavuus saadaan palkin pituutta muuttamalla. Tämä asia tuo hankaluuksia kiinnittimien modulaariseen suunnitteluun, koska vaihteiden kiinnityspisteet muuttuvat siirryttäessä toiseen vaihdekokoon. Suunnittelulle palkkiastiamallille tehtiin kuitenkin tarjouskysely, jotta saataisiin käsitystä siitä kuinka paljon hinta laskee yksittäisiin tilauksiin verrattuna. 14 litran astian hinnaksi muodostui 50 :n kappaleen sarjakoolla 90 € ja 4,5 litran astian hinnaksi 30 :n kappaleen sarjakoolla 72 €, joten tavoitteena olevaa 50 %:n hinnan alennusta alkuperäiseen konstruktion verrattuna ei tällä mallilla saavuteta. Pääsyy korkeaksi muodostuneeseen hintaan on astian suuri paino, koska teräksen kilohinta on tällä hetkellä korkea. Hintaan vaikuttaa myös käsityön suuri osuus, koska kokoonpanohitsaus on suurilta osin käsityötä.

Koska RHS-palkista valmistettu astiamalli vaikutti muilta osin hyvältä ratkaisulta, hintaa ja painoa lukuun ottamatta, jatkettiin astian kehittelyä samantyyppistä ratkaisumallia noudattaen kiinnittäen erityistä huomioita paisunta-astian painoon.



Kuva 15. Kahdesta U-muotoisesta peltilevystä tehty malli

Jotta astian tilavuus pystyttäisiin optimoimaan kiinnikkeiden kannalta sopivaksi, ei valmiiden profiilipalkkien käyttäminen ole mahdollista. Kanttaamalla kaksi U-muotoista peltilevyä ja hitsaamalla ne yhteen saadaan halutun muotoinen astia (kuva 15). Tilavuus saadaan optimaaliseksi peltilevyjen mittoja muuttamalla. Käyttämällä 3 mm:n paksuista peltilevyä astiasta tulee huomattavasti palkki-mallista astiaa kevyempi, astian painon ollessa tällöin noin 10 kg. 3 millimetrin seinämää ei kuitenkaan saada riittävästi pituutta kierteelle, joten erillisten muhvien käyttö on pakollista. Yhteistyössä alihankkijan kanssa päädyttiin ratkaisuun, jossa yläpuolinen peltilevy on alapuolista 10 mm leveämpi, jolloin astia voidaan kokoonpanohitsata robotilla. Robotilla hitsattaessa ei voida käyttää tavallisia hitsausmuhveja, vaan muhvissa pitää olla ohjaus levyyn, jotta muhvi voidaan käsin heftata paikalleen ennen varsinaista kokoonpanohitsausta. Ratkaisu vaikutti toimivalta, joten astiamallille tehtiin tarjouskysely. Ensimmäisellä tarjouskierroksella 14 litran astian hinnaksi 50 kappaleen tilauserällä muodostui 64 € ja 4,5 litran astian hinnaksi 30 :n kappaleen tilauserällä 56 €. Tällä paisunta-astiamallilla saavutetaan noin 30 - 40 %:n säästö kalvoastiaan verrattuna. Saavutettua hinnan alennusta voidaan pitää hyvänä tuloksena, joten konseptin suunnittelussa siirryttiin seuraavaan vaiheeseen, paisunta-astian kiinnikkeiden suunnitteluun.

6.4.2 Paisunta-astian pinnoitus

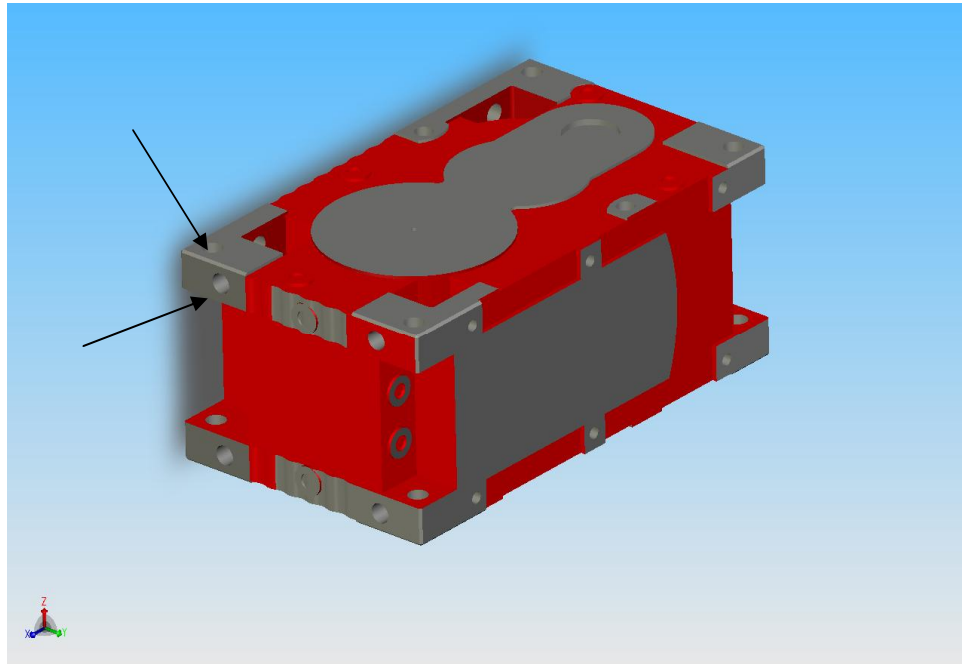
Paisunta-astian suojauspinnoituksen tarkoitus on suojata paisunta-astian ulkopintaa sääolosuhteilta ja sitä kautta korroosion vaikutuksilta sekä saada paisunta-astia näyttämään vaihteen osalta maalaamalla se vaihteeseen valitulla värisävyllä. Paisunta-astiassa paisuva öljy ei normaalitilanteessa koskaan pääse kosketuksiin koko paisunta-astian sisäpuolisen osan kanssa, joten paisunta-astian on pinnoitettava jollakin pinnoitteella ruostumisen estämiseksi. Korroosiota aiheuttaa pääasiassa vaihteen käyntilämpötilojen vaihtelu, jolloin vaihteen sisäpinnalle tiivistyy kondenssivettä. Ruostumattoman teräksen käyttö parantaisi korroosionkestävyyttä merkittävästi, mutta tähän materiaaliin päätyminen nostaisi kustannuksia liian paljon.

Paisunta-astian pinnoitukseksi valittiin vaihteen standardimaalauksen mukainen pohjamaalaus Inerta-Primer 3HB, kalvon paksuus 60 µm /5/. Astian maalaus pelkällä pohjamaalilla on riittävä, koska uuden konseptin on tarkoitus tulla kuiviin olosuhteisiin jolloin kondenssiveden muodostus on vähäistä. Myös erikoisina astioina tehdyt palkki-astiat on maalattu sisältä ainoastaan pohjamaalilla, eikä reklamaatioita paisunta-astian sisäpuolisesta ruostumisesta ole tullut. Paisunta-astian ulkopuolinen pinta maalataan vaihteen väriin asiakkaan tilauksen mukaan.

6.4.3 Kiinnikkeet

Kun paisunta-astian ulkomitat olivat tiedossa voitiin astian kiinnikkeiden suunnittelu aloittaa. Kiinnikkeiden tarkoitus on kiinnittää paisunta-astia vaihteeseen mahdollisimman tukevasti ja niin ettei käytön aikaisia värinöitä pääsisi syntymään. Jotta kokoonpano olisi mahdollisimman helppoa ja nopeaa, pitäisi kiinnittimen olla mielellään yksi kappale, joka asennetaan vaihteen ja astian väliin.

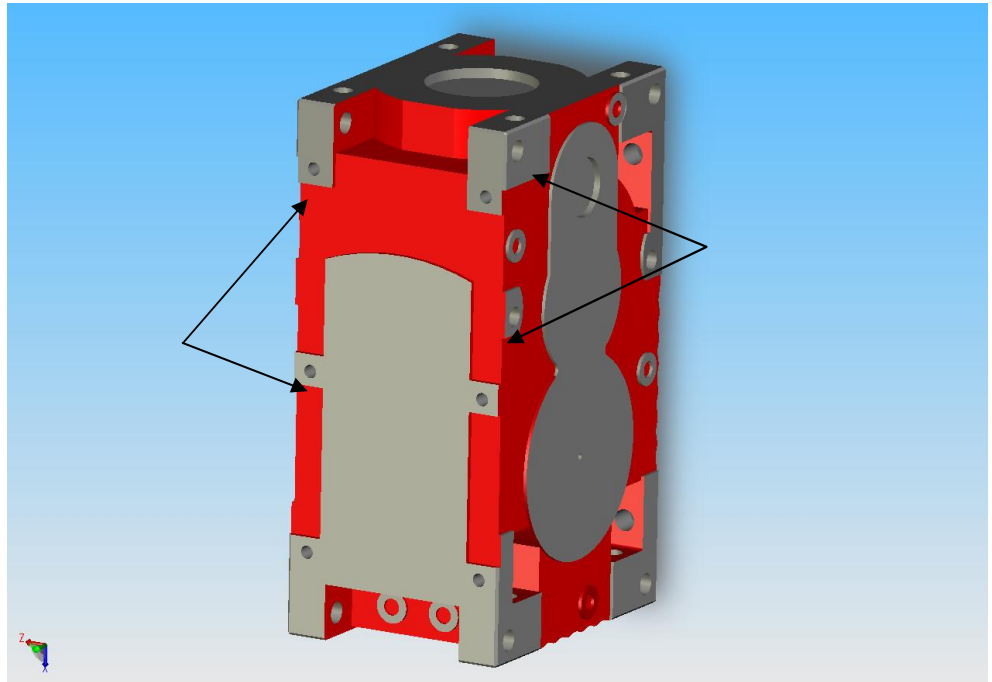
Koska paisunta-astian sijoituspaikaksi vertikaalivaihteeseen on valittu toisioakselin puoleinen pääty, ovat mahdolliset kiinnityspisteet vaihteessa kuvan 16 mukaiset reiät.



Kuva 16. Kiinnityksen käytettävissä olevat reiät vertikaalivaihteessa

Alempana olevia reikiä ei vaihteen asennustavan vuoksi voi käyttää. Jotta saavutettaisiin riittävä tukevuus käytetään riittävän paksua, viiden millimetrin, taivutettua peltilevyä. Kiinnike on yksikertainen valmistaa, sillä työvaiheita on vain kaksi laserleikkaus ja kanttaus. Johtuen kiinnitysreikien kasvusta siirryttäessä isompaan vaihdekokoon, saatiin vain kahden vaihdekoon kiinnikkeet yhdistettyä niin vertikaali- kuin pystyasennusvaihteessa, koska kiinnikkeet eivät saa ylittää vaihteen päämittoja.

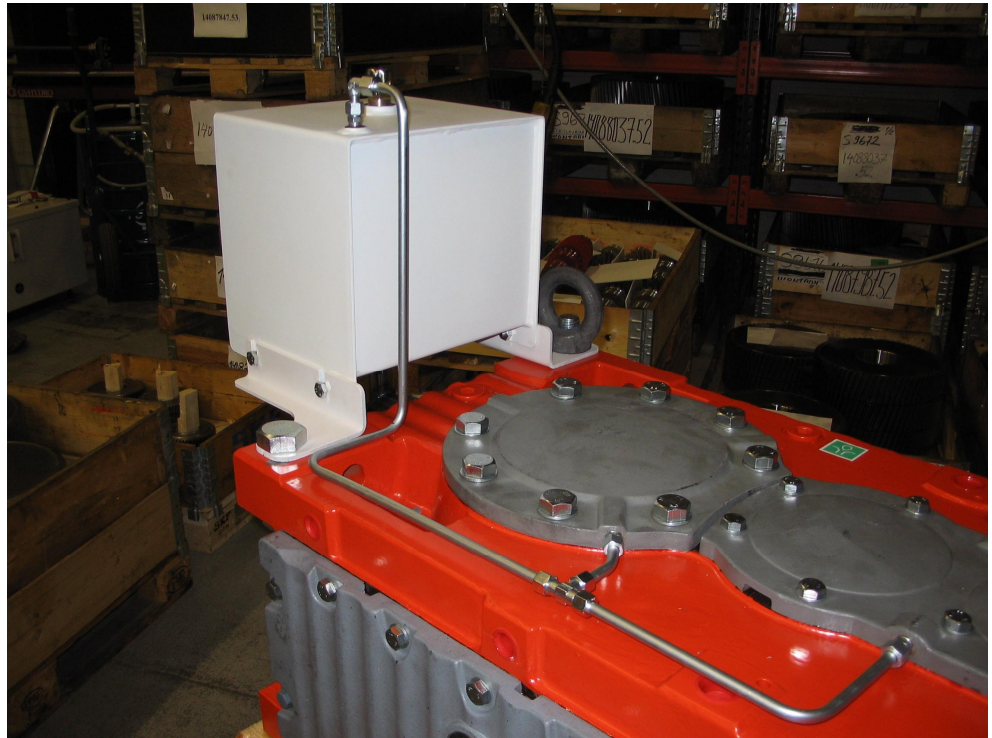
Pystyasennusvaihteessa jouduttiin rajoittamaan momenttituen käyttö paisunta-astian vastakkaiselle puolelle, koska paisunta-astian sijoituspaikaksi valittiin kokoonpanoaukon puoli. Muutoin pystyasennusvaihteen kiinnikkeistä olisi tullut rakenteeltaan moniosaiset ja siten hankalat kokoonpanoa ajatellen. Pystyasennusvaihteessa voidaan paisunta-astia kiinnittää kokoonpanoaukon puoleisella sivulla oleviin kierrereikiin tai vaihteen sivulla oleviin reikiin (kuva 17). Kotelon yläpuolella olevia reikiä ei voi moottorilaipan vuoksi käyttää.



Kuva 17. Kiinnikkeiden mahdolliset kiinnitysreiät pystyasennusvaihteessa

6.4.4 Prototyyppiversio

Jotta voitaisiin käytännössä todeta suunnitellun tuotteen toimivuus ja mahdolliset kokoonpanoa haittaavat tekijät päätettiin tilata paisunta-astian prototyyppi. Prototyyppiastia jouduttiin tilaamaan konseptin suunnittelun kannalta aikaisessa vaiheessa johtuen alihankkijoiden pitkistä (n. 6 viikon) toimitusajoista, joten kaikkia yksityiskohtia ei ollut vielä mietitty loppuun. Samalla päästiin testaamaan vaihteen öljyntäyttöä uuden astiamallin kanssa sekä tekemään koeajoja, joissa voitiin todeta uuden mallin mahdollinen värinäherkkyys.

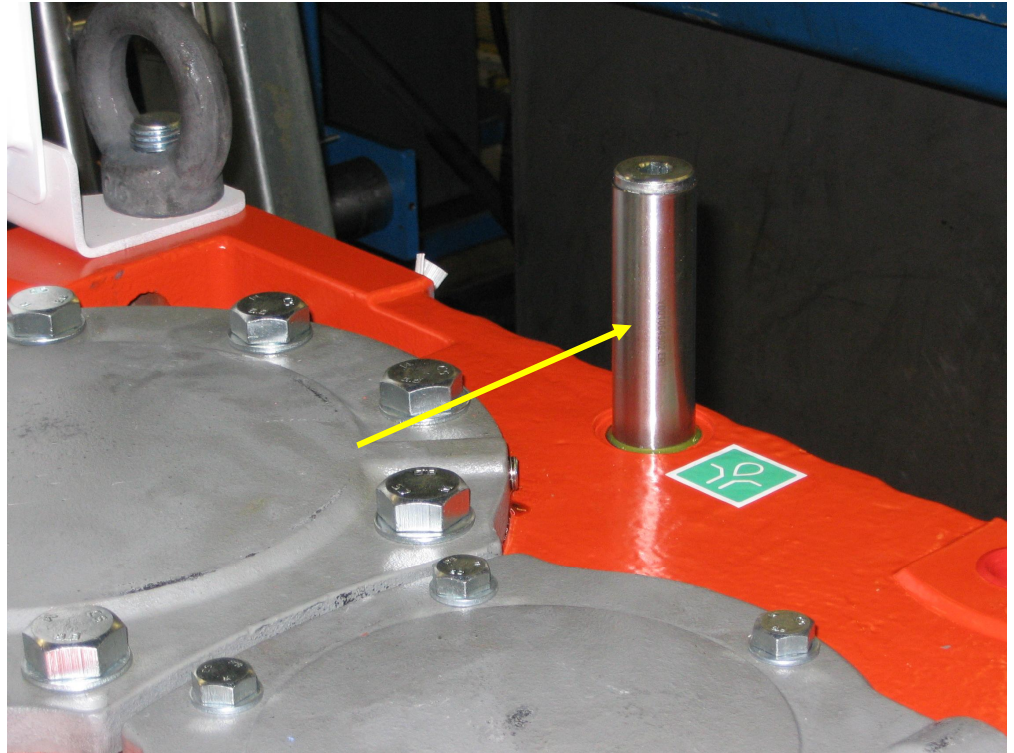


Kuva 18. Prototyyppiastia vertikaalivaihteessa

Prototyyppiversion kokoonpanossa tuli konkreettisesti esille tukipeltien säätövarojen välttämättömyys. Säätövaraa tarvitaan, koska putki jolla öljyyhteys vaihteeseen saadaan, on asennettava tarkasti helmiliittimen pohjaan. Jos putki ei mene kunnolla liittimen pohjaan, liitos alkaa vuotamaan. Kuvassa 18 näkyy ilmaputkitus vaihteen kansista paisunta-astiaan. Ulkopuolinen putkitus on tarpeen, koska vaihdetta täytettäessä vaihteen sisällä olevan ilman pitää päästä laakeripesistä pois. Jos laakeripesissä olevaa ilmaa ei johdeta pois, ei laakeri saa voiteluöljyä.

Alkuperäisenä tarkoituksena oli, että astian päällä oleva R1":n putkikierre toimisi sekä öljyntäyttö- että huohotinyhteenä. Prototyyppiastian koetäytössä ilmeni että vaihteessa oleva ilma ei pääse riittävän hyvin ulos samasta reiästä josta kaadetaan öljyä. Astian yläosaan tarvitaan siis erilliset yhteydet öljyntäyttöön, huohottimelle ja vaihteesta tulevalle ilmaputkitukselle. Uuden konseptin vaatimuslistalla oli myös vaihteen helppo ja yksinkertainen öljyntäyttö. Prototyyppiastian koetäytössä vaihdetta yritettiin ensin täyttää paisuntaastian päältä huoneenlämpöisellä vaihteistoöljyllä. Öljyn suuresta viskositeetista ja vaihteen sisällä olevasta ilmasta johtuen öljyntäyttö oli todella hidasta, ja noin 20 litran jälkeen öljyä ei enää mennyt vaihteeseen paisuntaastian kautta. Tämä johtui siitä, että vaihteessa oleva ilma ei päässyt pois. Ongel-

ma ratkaistiin laittamalla vaihteen yläpinnalle erillinen öljyntäyttöyhde (kuva 19).



Kuva 19. Öljyn täyttöyhde vertikaalivaihteessa

Täyttämällä vaihde öljyntäyttöyhteestä käsin ei edellämäntun kaltaista ilmalukkoa pääse syntymään, vaan öljyntäyttö onnistuu nopeasti ja vaihteessa oleva ilma pääsee poistumaan esteettä paisunta-astian ja laakeripesien kautta. Kun vaihde on täytetty öljyntäyttöyhteen yläpintaan, pitää paisunta-astiaan kaataa vielä noin 5 litraa öljyä, jotta öljynpinta voitaisiin havaita öljysilmästä. Tämä noin viiden litran ylitäyttö on tarpeen, koska vaihteen öljyntäyttölämpötilaksi oletetaan huoneenlämpötila, ja jos vaihteen lopullinen sijoituspaikka on öljyntäyttölämpötilaa kylmemmissä olosuhteissa, tapahtuu öljynpaisunnalle käänteinen ilmiö eli kutistuminen. Öljyn ylitäyttö varmistaa tällöin laakerien voitelun öljyn tilavuuden pienentyessä.

Käyttämällä erillistä öljyntäyttöyhdetä päästään osin eroon myös toisesta vertikaalivaihteen öljyntäyttöön liittyvästä ongelmasta. Kun vaihteen kotelo on käännetty vertikaali-asentoon, on vaihteen yläosassa rivoitus jäykistämässä rakennetta ja tähän kohtaan jää vaihteen molemmille puolille ilmataskut öljyä täytettäessä. Öljypinnan saavuttaessa ripojen taso, jää vaihteen yläreunan ja ripojen tason väliin tilavuus, johon täytettävä öljy ei pääse, koska tilassa ole-

va ilma ei pääse pois. Laittamalla öljyntäyttöyhde muodostuvan ilmataskun kohdalle, ei ilmataskua pääse syntymään. Vaihteen kotelon toisella puolella oleva ilmatasku voidaan poistaa RV-vaihteessa avaamalla kaikki tulpat vaihteen yläpuolella öljyntäyttöä tehtäessä. Koska öljyntäytön pitää olla mahdollisimman helppoa, ei tulppien avaaminen ja sulkeminen tule kyseeseen. PV-vaihteessa toisesta ilmataskusta on ilman lisäkoneistusta tai valumuutosta koteloon mahdotonta päästä eroon, koska moottorilaippa tulee avattavan tulpan päälle. Ongelmasta päästäisiin eroon lisäkoneistuksella koteloon, mutta vaihteen kotelot ovat varastoon ohjautuvia eli kotelo voi tulla asennettavaksi mihin asentoon tahansa. Jokaisen kotelon lisäkoneistaminen vertikaalivaihteen ilmataskujen poistamiseksi ei ole taloudellisesti kannattavaa, koska vertikaalivaihteen myyntimäärät suhteessa muihin vaihteisiin on pieni. Niinpä vaihteeseen jäävä ilmatasku on huomioitava paisunta-astiassa korkeammalla öljynpinnan tasolla.

Pystyasennusvaihteen öljyntäytössä havaittiin sama ongelma kuin vertikaalivaihteessakin, eli vaihde täyttyi hitaasti paisunta-astiasta täytettäessä. Pystyasennusvaihteessa öljyn täytön hitauteen on kaksi syytä. Vaihteessa oleva ilma ei pääse kunnolla ulos ja öljyntäyttöputki on vaihteen keskilinjan kohdalla, jolloin öljynpinnan ollessa öljyntäyttöputken tasolla öljy täyttyy ainoastaan paisunta-astiassa olevan öljyn hydrostaattisen paineen avulla. Jotta öljyntäyttöä voitaisiin nopeuttaa, täytetään vaihde kotelon ylöosassa olevasta reiästä ja loput öljystä, noin 5 litraa, paisunta-astiasta öljysilmään asti. RE-vaihteessa tarvitaan ilmaputkitus ainoastaan kartiokilven yläosassa olevasta yhteestä paisunta-astiaan.



Kuva 20. Prototyyppiastia RE-vaihteessa

Paisunta-astian prototyypille suoritettiin koeajo, jotta voitaisiin varmistua öljynpaisunnan laskennan oikeellisuudesta ja todeta mahdollinen värinäherkkyys. Koeajossa havaittiin, että rakenne on tukeva ja värisemätön sekä vertikaali- että pystyasennusvaihteessa. Käytettäessä vaihdetta eri pyörimisnopeuksilla havaittiin, että pyörimisnopeuden kasvaessa astiasta kuului kolisevaa ääntä, ei kuitenkaan häiritsevissä määrin. Ilmiö johtui todennäköisesti astian seinämien ohuudesta ja suurista tasaisista pinnoista, jolloin astian seinämät toimivat ikään kuin rummun kalvoina, jotka vahvistavat vaihteen käyntiääntä. Asia vaatii kuitenkin melumittauksen tekemistä koeajossa. Mittaria ei ollut saatavilla koeajoon varattuna aikana, joten asian tutkiminen jää tehtäväksi myöhempanä ajankohtana. Jos mittauksessa ääni osoittautuu liian kovaksi, ongelma voidaan ratkaista paisunta-astian seinämien muotoa muuttamalla. Paisunta-astian sivuille voidaan taivuttaa pienet pokkaukset, jolloin rakenne jäykistyy, ja suorien, melua aiheuttavien pinta-alojen, määrä pienenee.

Öljynpaisunnaksi mitattiin vertikaalivaihteessa ensimmäisellä koeajolla yksi litra. Näin pieni öljynpaisunta johtui vaihteen yläpinnalla olevasta ilmataskusta. Vaihdetta käytettäessä hammaspyörät vispaavat öljyä, jolloin vaihteessa oleva ilma poistuu vähitellen ja ilmataskun verran öljyä korvaa tämän tilavuuden. Tämä huomattiin myös koeajossa, sillä paisunta-astiassa olevassa

öljyssä oli runsaasti ilmakuplia. Toisessa koeajossa vaihteessa ei ollut ilmaa ja öljynpaisunnaksi mitattiin 65 asteen lämpötilaerolla 4 litraa. Koeajotulos on noin 2 litraa pienempi kuin laskemalla saatu tulos. Saadun tuloksen perusteella suunnitellut paisunta-astiat ovat ylimitoitettuja todellisiin öljynpaisuntoihin nähden ja laskennan voi todeta olevan varmalla puolella. Öljynpaisunnan todelliseen arvoon vaikuttavat kuitenkin öljytyyppi ja etenkin ilman sekoittumisen ennalta arvaamattomuus, jolloin paisunta-astian tulee joka tapauksessa olla hieman todellista öljynpaisuntaa suurempi.

Kun otetaan huomioon, että vertikaalivaihteessa paisunta-astiaan tarvitaan lisätilavuutta ilmataskun vaatiman tilavuuden verran ja öljyn paisunta on laskettua pienempi, ei suunniteltua konstruktiota tarvitse muuttaa. Tarvittava muutos on öljysilmän paikan muuttaminen oikeaan kohtaan.

6.4.5 Hintavertailu

Paisunta-astian prototyyppi todettiin toimivaksi ratkaisuksi ja kahdesta U-mallisesta levystä tehty astia hinnaltaan kilpailukykyiseksi vaihtoehdoksi. Prototyypin testauksen jälkeen astiaan lisättiin yksi yhde astian yläpinnalle, joka nosti hintaa hieman. Tarjouskysely tehtiin kahtena viime vuonna toimitettujen vaihteiden keskiarvomäärinä siten, että osia tilattaisiin noin 50:n paisunta-astiaan kerrallaan. Hinnat ovat taulukossa 5.

Taulukko 5. Hintavertailu uuden ja vanhan konseptin välillä

Paisunta-astian hinta vertikaalivaihteeseen

MCV	Moist-astia	Uusi konsepti	Ero
02	145 €	105 €	-28 %
03	153 €	105 €	-32 %
04	153 €	105 €	-32 %
05	153 €	105 €	-32 %
06	153 €	119 €	-22 %
07	154 €	119 €	-22 %
08	156 €	123 €	-21 %
09	154 €	123 €	-20 %
KA	153 €	113 €	-26 %

Paisunta-astian hinta RE-vaihteeseen

MCRE	Moist-astia	Uusi konsepti	Ero
02	227 €	114 €	-50 %
03	219 €	114 €	-48 %
04	219 €	111 €	-49 %
05	219 €	111 €	-49 %
06	223 €	130 €	-42 %
07	224 €	131 €	-42 %
08	236 €	131 €	-45 %
09	240 €	135 €	-44 %
KA	226 €	122 €	-46 %

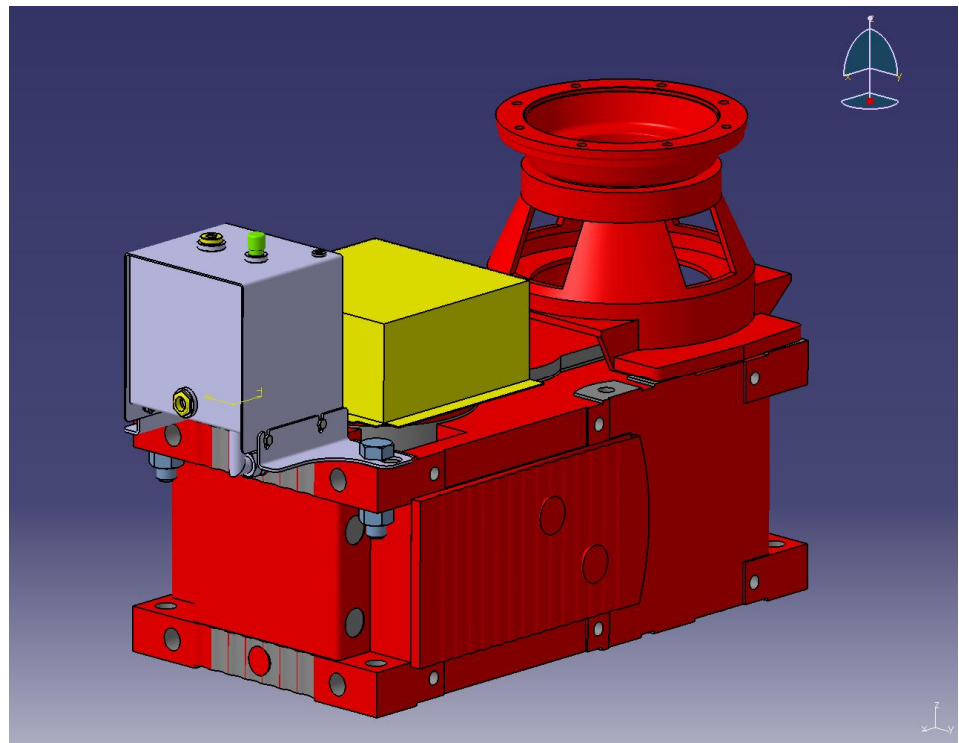
Taulukosta 5 nähdään, että tavoitteena olevaan 50 %:n hinnanalennukseen ei vertikaalivaihteessa päästy. Pystyasennusvaihteessa päästiin hyvin lähelle tavoiteltua hintaa. Vaikka saavutetusta hinnasta jäätin, tuo uusi konsepti vuositasolla merkittävää säästöä.

7 KÄYTTÖÖNOTETTAVAT JA SÄILYTETTÄVÄT RATKAISUT

Uusi konsepti täydentää Compact-sarjan paisunta-astia valikoimaa siten, että nyt suunniteltu paisunta-astiamalli tulee oletusastiaksi jokaiseen vaihteeseen. Valuastiaa käytetään silloin, kun vaihteessa on normaaliakseli alaspäin eli akseliasennossa 23 ja olosuhteet ovat kuivat. Uuden konseptin mukaista paisunta-astiaa käytetään aina, kun vaihteessa on putkiakseli ja toisioakseli ylöspäin. Uutta paisunta-astiaa ei voida käyttää tilanteessa, jossa toisiolaippa on vaihteen päällä eli akseliasennossa 24. Edellä kuvattu tilanne on kuitenkin erittäin harvinainen. Uusi paisunta-astia on tarkoitettu kuiviin olosuhteisiin ja vaihteeseen, joka on jatkuvassa käytössä, jolloin paisunta-astiaan ei pääse muodostumaan kondenssivettä. Suljettua kalvoastiaa käytetään

tetään silloin, kun olosuhteet ovat erittäin kosteat ja pölyiset, ja tilanteessa, jossa toisiolaippa on vaihteen päällä.

Työn viimeisenä vaiheena uudesta paisunta-astiakonseptista tehtiin komponenttistandardi eli tuote standardoitiin yrityksen omien standardien mukaisiksi. Ilman komponenttistandardin tekoa ei tuotetta voi ottaa käyttöön, koska komponenttistandardi toimii pohjana konfiguraattorin reunaehtoja määrittäessä. Uuden tuotteen tai ominaisuuden lisääminen vaihdesarjaan vaatii myös myyntimateriaalin päivittämistä. Jotta uutta astiakonseptia voitaisiin esitellä asiakkaille mahdollisimman havainnollisesti tehtiin vaihteesta 3D-malli uuden paisunta-astian kanssa (kuva 21).



Kuva 21. 3D-malli paisunta-astiasta vertikaalivaihteeseen asennettuna

8 YHTEENVETO

Tässä insinööriyössä kehitettiin Compact-sarjan teollisuusvaihteeseen modulaarinen paisunta-astiakonsepti. Uuden konseptin suunnittelu aloitettiin analysoimalla olemassa olevat rakenteet sekä ideoimalla paisunta-astiaan uusia kilpailukykyä parantavia ominaisuuksia. Seuraavassa vaiheessa perehdyttiin modulaarisuuteen ja moduulijärjestelmiin. Öljynpaisunnan lasken-

nan jälkeen tehtiin varsinainen suunnittelutyö valitsemalla hinnan kannalta optimaalisin valmistustapa ja -materiaali. Prototyyppiversion asennuksen ja koeajon perusteella tehtiin rakenteeseen tarvittavat muutokset.

Modulaarista järjestelmää suunniteltaessa tultiin siihen tulokseen, että täysin yhteensopivaa konstruktiota kaikkien mahdollisten lisävarusteiden ja asennusasentojen kanssa, kokoonpantavuuden ja hinnan siitä kärsimättä, on mahdoton kehittää. Saavutettu tulos on siis kompromissi kaikkien edellä mainittujen tekijöiden kesken.

Työn tärkein tavoite, alkuperäisen hinnan puolittaminen, ei onnistunut johtuen järjestelmän modulaarisuudesta ja teräksen suhteellisen korkeasta hinnasta tällä hetkellä. Suunnitellusta rakenteesta tuli kuitenkin aikaisempaa modulaarisempi, halvempi ja helpommin kokoonpantavampi. Myös vanhojen paisunta-astioiden käytön aikaisista värähtelyistä päästiin eroon. Tulevaisuudessa tutkimisen arvoista olisi myös selvittää paisunta-astian käytön soveltuvuutta kosteissa tai lämpötiloiltaan vaihtelevissa olosuhteissa erilaisten vaihteeseen kosteuden pääsyä estävien suodattimien kanssa.

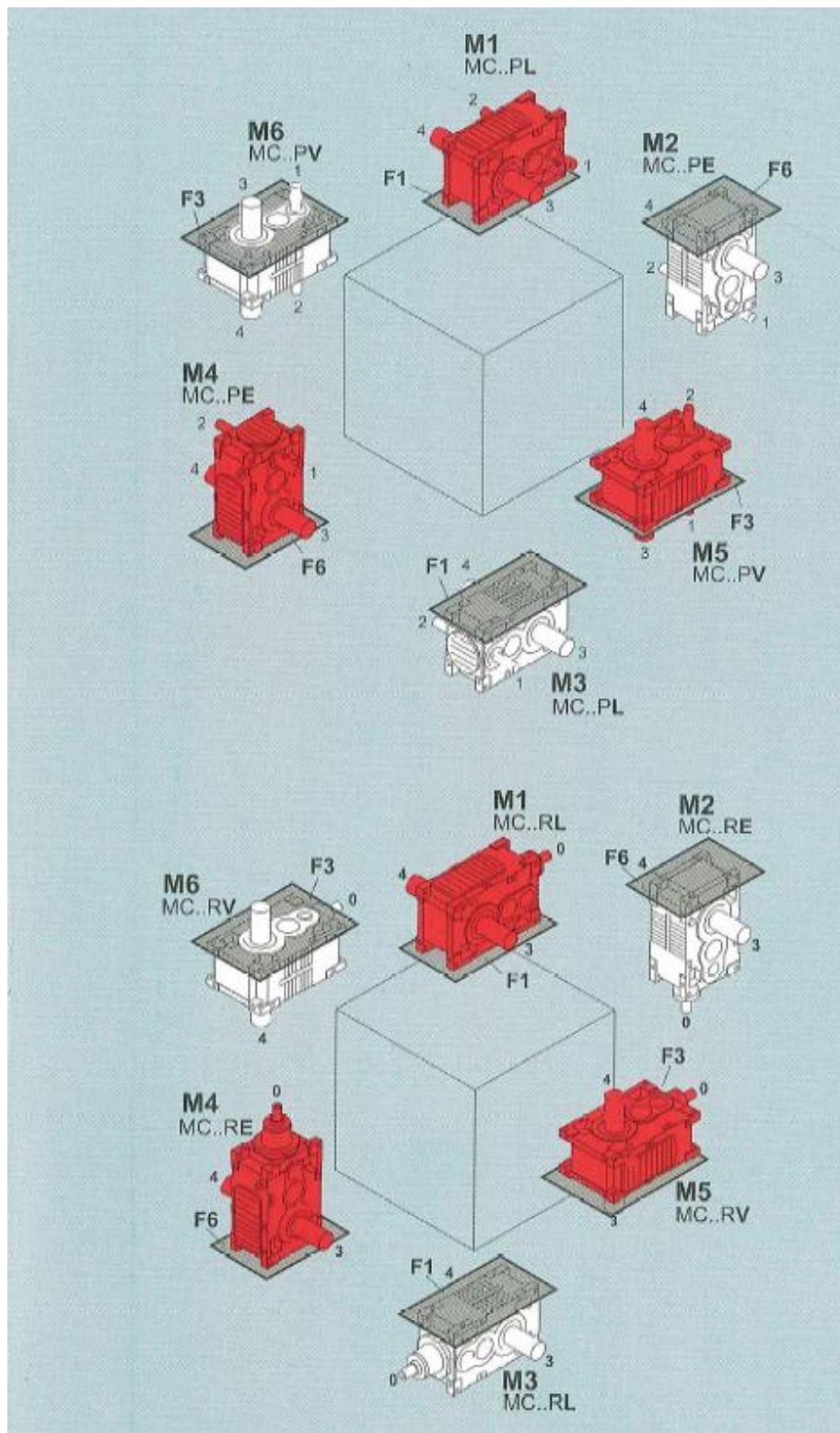
Uuden paisunta-astiasarjan hankintahinnan halventuminen tuo merkittäviä säästöjä vuodessa nykyisillä myyntimäärillä. Suunnitellun paisunta-astian järkevämpi tilavuuden mitoitus pieniin vaihteisiin vaikuttaa myös pienten vaihteiden myyntimääriin, koska aikaisemmalla konstruktiolla vaihteen myyminen on usein jäänyt kiinni liian tilaa vievästä paisunta-astiasta.

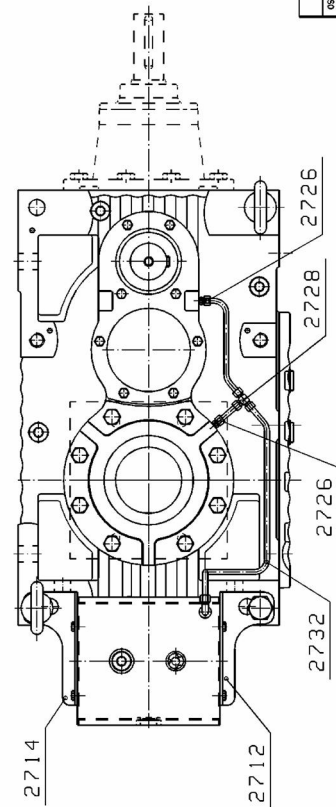
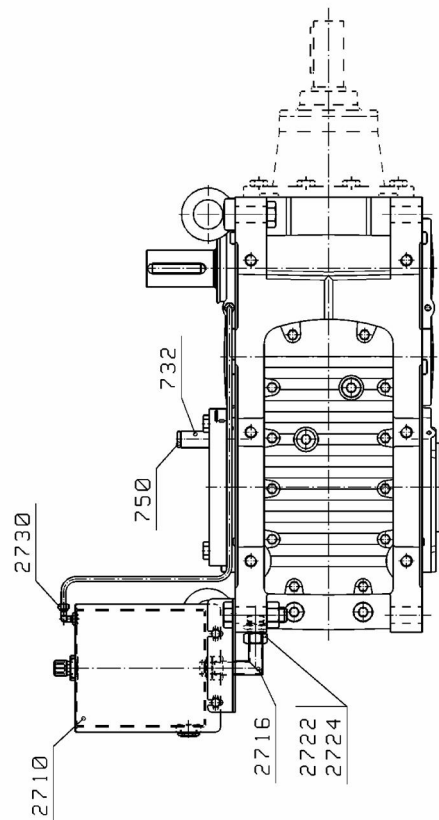
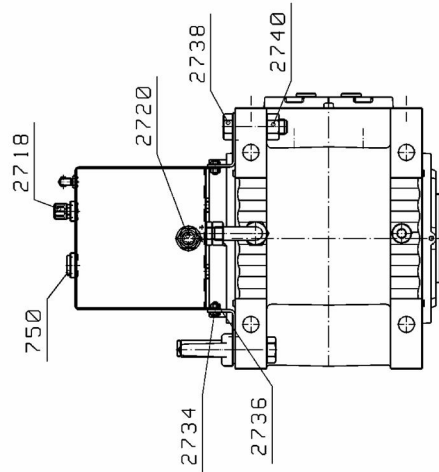
9 VIITELUETTELO

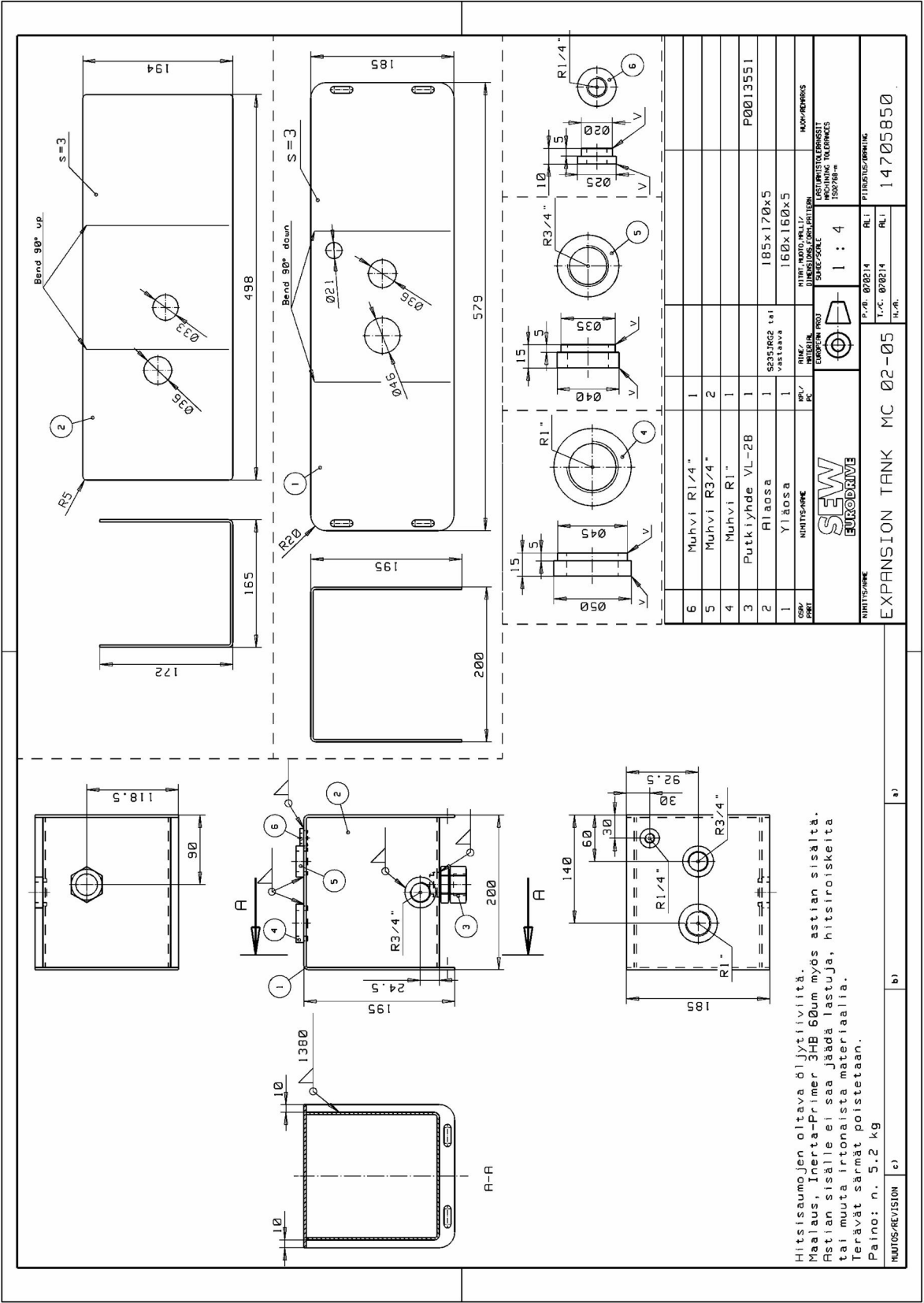
- /1/ Pahl, Gerhard – Beitz, Wolfgang, Koneensuunnitteluoppi. MET: Porvoo 1992
- /2/ Tieto Neste Oil Oyj
- /3/ Keskustelut Markku Minkkisen kanssa, tuotekehitys, SEW Industrial Gears Oy
- /4/ Keskustelut Antero Kärjen kanssa, SEW Industrial Gears Oy
- /5/ Santasalo ohjelehti SAN-086, vaihteiden standardimaalaus

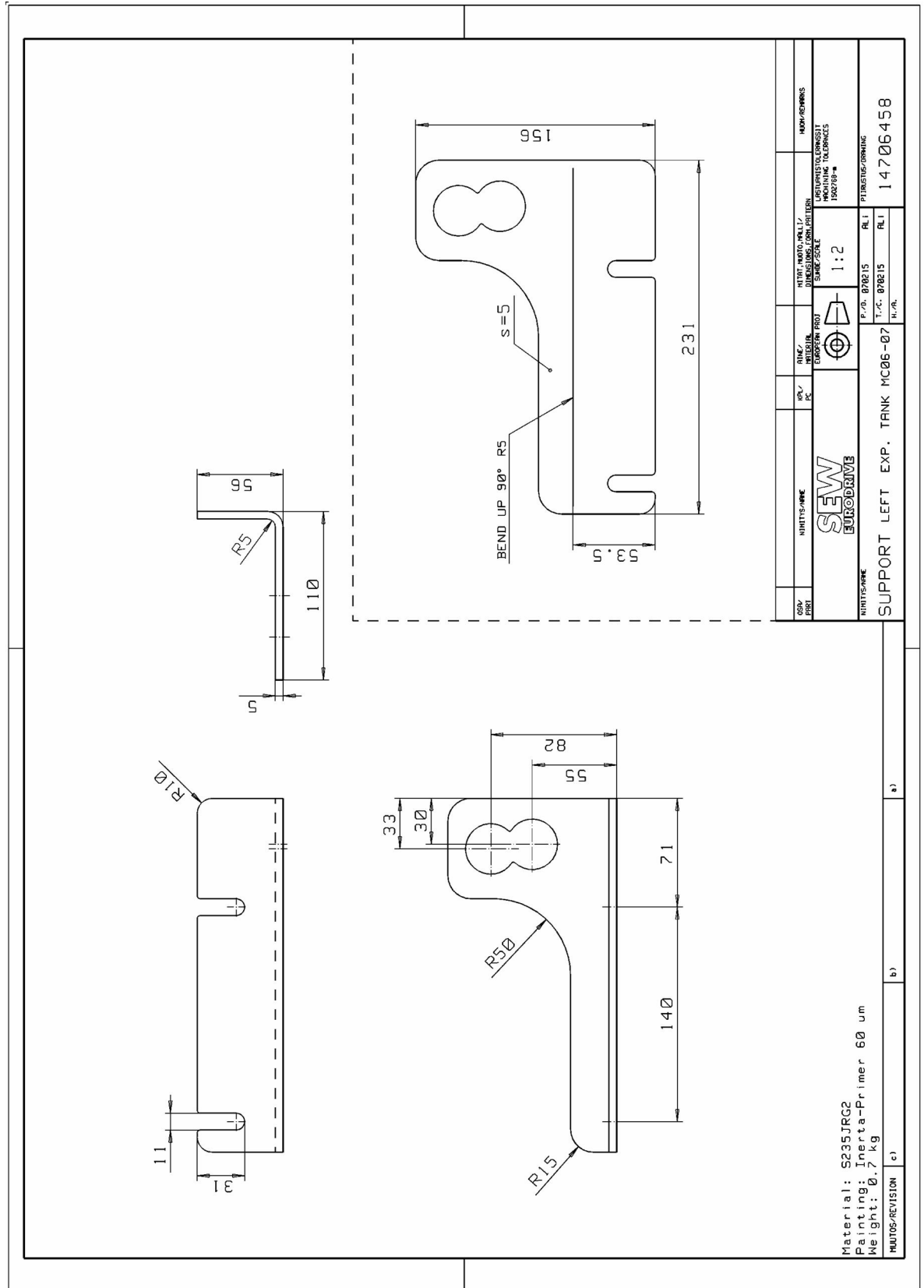
Vaatimuslista uudelle paisunta-astialle

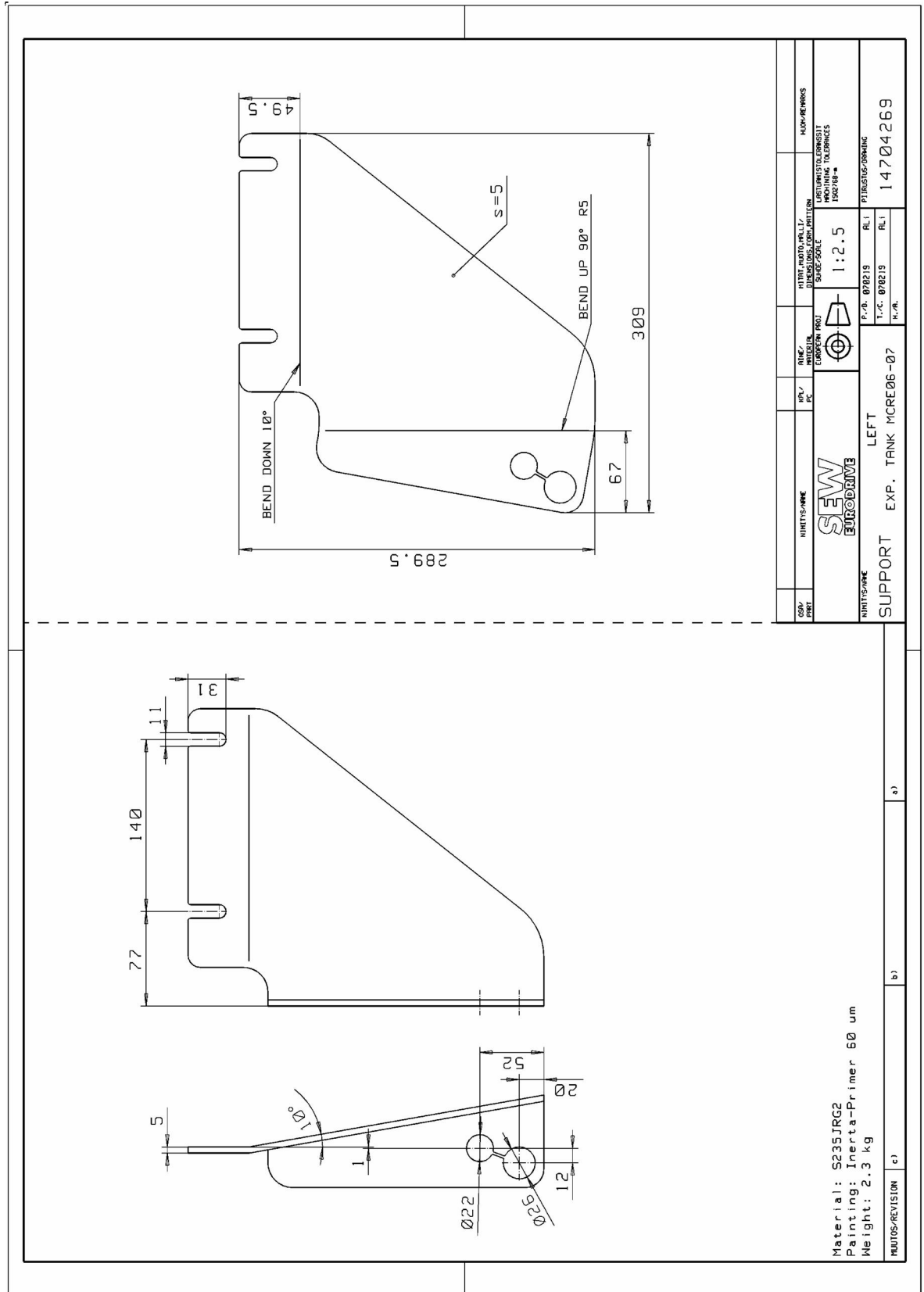
				Kiinteä vaatimus	Vähimmäisvaatimus	Toive
Toiminnalliset vaatimukset						
	Astian oltava lähellä vaihdetta			X		
	Lisävarusteiden huomiointi			X		
	Asennusasentojen huomiointi			X		
	Huoltovapaa				X	
	Tilantarve vähäinen			X		
	Ilman poissaanti vaihteesta			X		
	Jäähdytuspinta-alan lisääminen					X
Rakenteelliset vaatimukset						
	Yksinkertainen valmistaa				X	
	Helppo kokoonpanna				X	
	Modulaarinen rakenne			X		
	Öljyn täyttö helppoa			X		
	Astia tyhjenee täysin			X		
	Öljysilmä/tikku			X		
	Kestävä				X	
	Korrosiosuojattu			X		
	Tukeva "värähtelemätön" rakenne				X	
Muut vaatimukset						
	Hinta 50% nykyisestä				X	
	Ulkonäkö					X
	Helppo myydä			X		

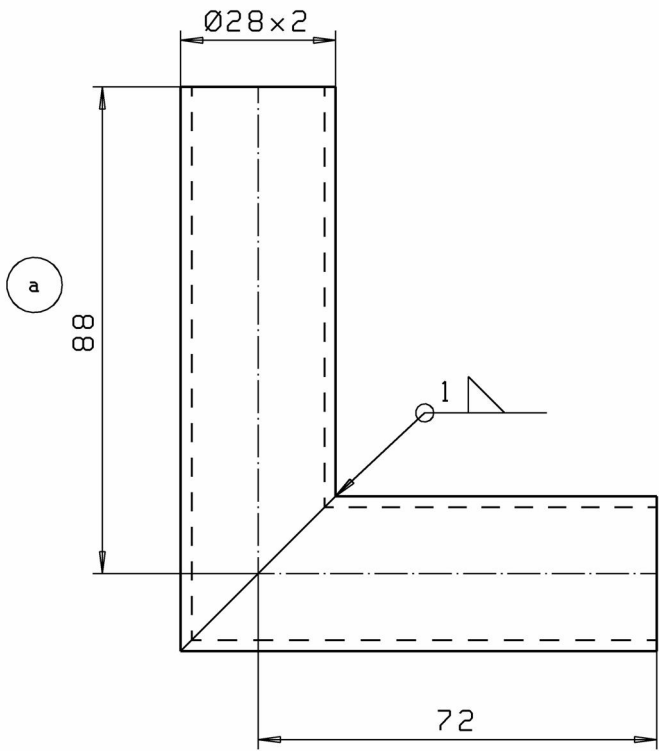


[illegible]


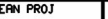


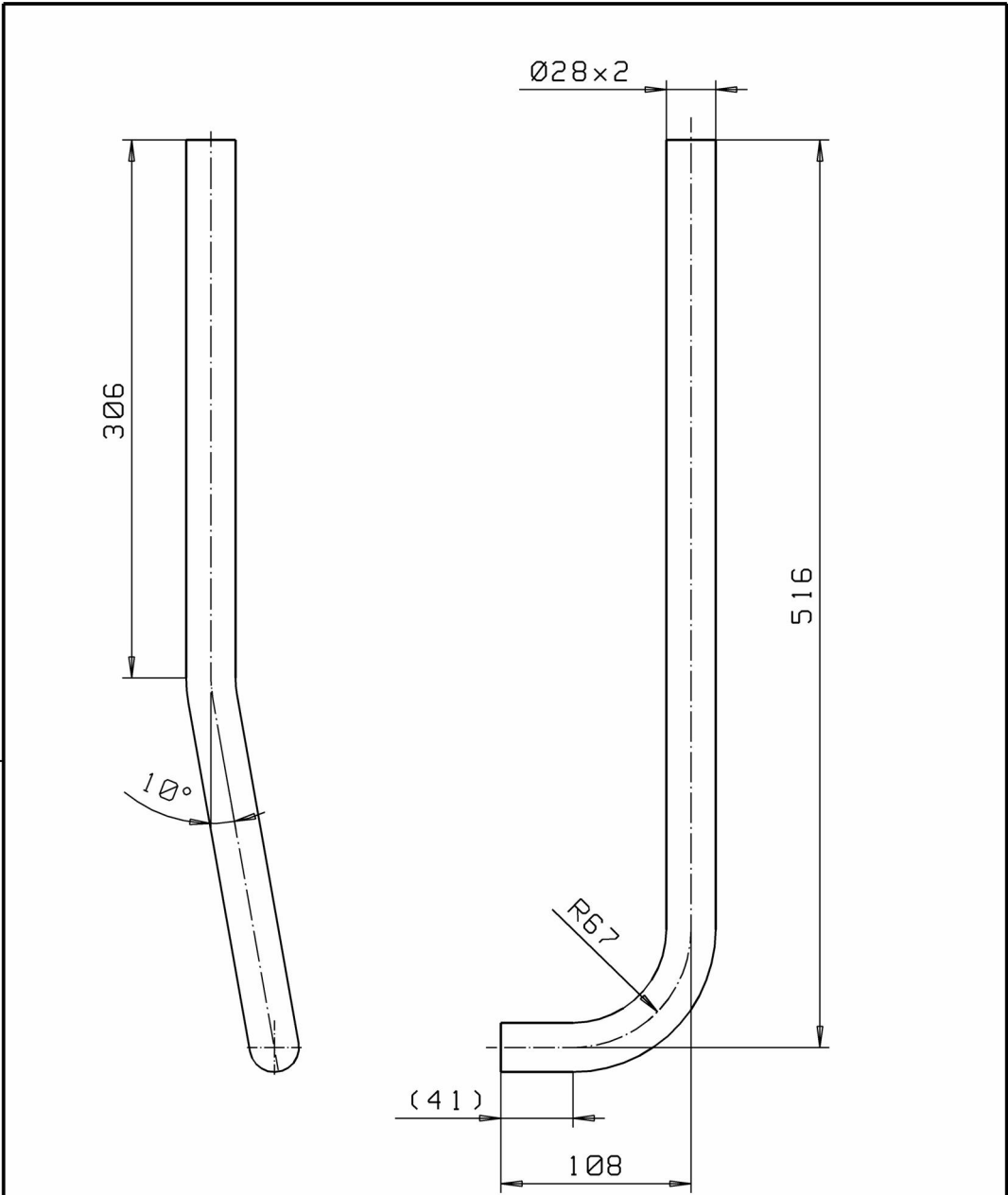








Material: EN 10305-1 - S235JRG2
Sharp edges to be removed

MUUTOS/REVISION		a) Pipe lenght 83->88 Ø203Ø2 ALi		b)		c)			
						SUHDE/SCALE 1:1		LASTUHMISTOLERANSSIT MACHINING TOLERANCES ISO2768-m	
NIMITYS/NÄME				P./D. Ø70217 ALi		PIIRUSTUS/DRAWING			
PIPE EXP. TANK MC06-09				T./C. Ø70217 ALi		14706954 a			
				H./R.					



Material: EN 10305-1 - S235JRG2
Sharp edges to be removed

MUUTOS/REVISION	a)	b)	c)
			SUUNDE/SCALE 1 : 3 LASTUMISTOLERANSSIT MACHINING TOLERANCES ISO2768-m
NIMI/TYYS/NÄME PIPE EXP. TANK MCRE07		P./D. Ø70219 AL i T./C. Ø70219 AL i H./A.	PIIRUSTUS/DRAWING 14704668